

# **Manual de Conservação de Pavimentos para Pequenas Redes Rodoviárias Municipais: bases para a sua elaboração**

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de  
Mestre em Engenharia Civil - Especialização em  
Construção Urbana

**Autor**

**Fátima Isabel Baptista Videira**

**Orientador**

**Prof. Doutor Silvino Dias Capitão**

Professor Coordenador do IPC-ISEC

**Coimbra, dezembro de 2014**



## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer ao Prof. Doutor Silvino Dias Capitão, Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Coimbra e do Instituto Superior de Engenharia Civil de Coimbra, pelo impulso que garantiu o início da viagem na licenciatura de Engenharia Civil e pela inestimável orientação científica, pela paciência e insistência, que demonstrou durante a realização desta dissertação, no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil.

À minha família que amo muito! Grata pelo apoio, compreensão e paciência, quando estive ausente devido à realização deste trabalho.

Aos meus amigos, pela amizade demonstrada, pelas gargalhadas e aventuras proporcionadas.

Sem vocês isto não seria possível. Obrigada!

Fátima Isabel Batista Videira

Coimbra, dezembro de 2014





## RESUMO

A condição ou o estado das infraestruturas rodoviárias contribui significativamente para a atividade geral da economia, promovendo a mobilidade de pessoas e bens e o consequente desenvolvimento local, regional ou nacional. Durante muitos anos o investimento público português em novas estradas foi muito elevado, relegando a conservação das vias existentes para segundo plano. Dado que este tipo de infraestruturas é abundante, e devido a razões de racionalidade orçamental, esta tendência inverteu-se. As infraestruturas existentes a necessitar de trabalhos de conservação têm vindo a aumentar e a construção de novas infraestruturas rodoviárias está a diminuir.

No domínio municipal a conservação de pavimentos é ainda uma atividade pouco valorizada pelos gestores quando o estado de conservação ainda é razoável, uma vez que o seu impacto na opinião pública é reduzido, sendo por isso adotada com reservas nas decisões técnico-políticas.

Acresce a este facto a pluralidade de ação dos técnicos municipais, o conhecimento técnico generalista dos mesmos e a falta de tempo disponível que não lhes permite implementar ou aperfeiçoar medidas de gestão da conservação do património rodoviário construído. Para esse efeito será necessário um conhecimento técnico, económico e financeiro das opções de conservação disponíveis no mercado e do momento oportuno para realizar essas ações.

O manual, cuja estrutura se propõe nesta dissertação, pretende responder às necessidades dos técnicos municipais de forma simples e eficaz, servindo como um guia no processo de escolha das intervenções de conservação rodoviária para pavimentos flexíveis e de blocos. O manual proposto sintetiza a informação respeitante à constituição dos pavimentos rodoviários, ao desenvolvimento de patologias, à avaliação de qualidade dos pavimentos, às técnicas de conservação mais utilizadas e à gestão da conservação.

Espera-se que seja uma boa ferramenta de trabalho para os técnicos municipais e que facilite o aperfeiçoamento das suas competências, no âmbito da conservação rodoviária.

“Para predizer o futuro, só precisamos conhecer o presente!”



## ABSTRACT

The condition of road infrastructure contributes significantly to the overall activity of the economy, promoting mobility of people and goods, and the consequent local, regional or national development. For many years the Portuguese public investment in new roads was very high, relegating the maintenance of existing roads to second plan. Due to the abundance of this type of infrastructure and because of budget rationality, this trend was reversed. Existing infrastructure needing maintenance has been increasing and the construction of new road infrastructure is declining.

At municipal level, pavement's maintenance is still an undervalued activity by managers, since it has little impact on public opinion. Therefore, it is adopted with reservations in the technical and political decisions.

In addition, the plurality of action of the municipal technicians, their general technical knowledge and lack of available time, do not allow them to implement or improve road maintenance management measures. In this sense, it is required a technical, economic and financial knowledge of the available maintenance options, and the appropriate time to perform those actions.

The manual, whose structure is proposed in this paper, aims to meet the needs of municipal technicians in a simple and effective manner, providing a guide for selecting road maintenance interventions in flexible and block pavements. The manual synthesizes information concerning road pavements: distress development, evaluation of serviceability, the most widespread maintenance techniques and maintenance management.

It is expected that the manual could be a good working tool for municipal technicians, allowing them to improve their skills in the context of road maintenance.

"To predict the future, we only need to know the present!"



## ÍNDICE

|   |     |
|---|-----|
| AGRADECIMENTOS .....                                      | i   |
| RESUMO .....  | iii |
| ABSTRACT .....  | v   |
| ÍNDICE .....  | vii |
| ABREVIATURAS.....   | xv  |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                       | 1   |
| 1.1. Enquadramento.....                                   | 1   |
| 1.2. Objetivos e Metodologia .....                        | 1   |
| 1.3. Estrutura da dissertação.....                        | 2   |
| 2. PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E DE BLOCOS.....    | 3   |
| 2.1. Considerações iniciais .....                         | 3   |
| 2.2. Constituição de Pavimentos Flexíveis.....            | 3   |
| 2.3. Constituição de Pavimentos de Blocos .....           | 5   |
| 2.3.1. Calçada portuguesa .....                           | 6   |
| 2.3.2. Blocos prefabricados de betão .....                | 8   |
| 2.4. Famílias de Patologias em Pavimentos Flexíveis ..... | 11  |
| 2.4.1. Considerações Iniciais .....                       | 11  |
| 2.4.2. Deformações .....                                  | 11  |
| ▪ Rodeiras .....  | 11  |
| ▪ Deformações localizadas .....                           | 12  |
| ▪ Abatimento.....   | 13  |
| ▪ Ondulação .....   | 14  |
| 2.4.3. Fendilhamento.....                                 | 14  |
| ▪ Fendas longitudinais .....                              | 14  |
| ▪ Fendas transversais .....                               | 15  |
| ▪ Pele de crocodilo.....                                  | 15  |
| 2.4.4. Desprendimento e movimento de materiais.....       | 16  |
| ▪ Desagregação superficial .....                          | 16  |
| ▪ Cabeça de gato .....                                    | 17  |
| ▪ Pelada.....   | 17  |
| ▪ Ninhos ou covas.....                                    | 18  |
| ▪ Exsudação do betume .....                               | 18  |
| ▪ Subida de finos.....                                    | 19  |
| ▪ Desprendimento dos agregados .....                      | 19  |
| ▪ Polimento dos agregados .....                           | 20  |
| 2.5. Famílias de Patologias em Pavimentos de Blocos ..... | 20  |
| 2.5.1. Considerações Iniciais .....                       | 20  |
| 2.5.2. Deformações .....                                  | 21  |

|        |  |    |
|--------|--|----|
| ▪      | Rodeiras .....   | 21 |
| ▪      | Depressões .....   | 21 |
| ▪      | Escalonamento dos blocos .....   | 22 |
| ▪      | Empolamento dos blocos .....   | 22 |
| ▪      | Reparações .....   | 23 |
| 2.5.3. | Desprendimento e Movimento de Materiais .....                                    | 23 |
| ▪      | Bloco danificado .....   | 23 |
| ▪      | Falta de blocos .....  | 24 |
| ▪      | Confinamento lateral .....   | 24 |
| ▪      | Largura excessiva das juntas .....   | 25 |
| ▪      | Arrastamento horizontal .....  | 25 |
| ▪      | “Bombagem” ou subida de finos .....  | 25 |
| 2.6.   | Considerações Finais .....   | 26 |
| 3.     | <b>AValiação DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO</b> .....                                  | 27 |
| 3.1.   | Considerações Iniciais .....   | 27 |
| 3.2.   | Inventário da Rede Rodoviária Municipal .....                                    | 28 |
| 3.3.   | Levantamento Visual das Degradações Superficiais .....                           | 30 |
| 3.3.1. | Catálogo de Degradações .....  | 30 |
| 3.3.2. | Observação Visual .....  | 32 |
| 3.4.   | Levantamento das Características Superficiais .....                              | 34 |
| 3.4.1. | Profundidade da textura superficial .....  | 34 |
| 3.4.2. | Atrito .....   | 36 |
| 3.4.3. | Irregularidade Longitudinal e Transversal .....                                  | 39 |
| 3.4.4. | Drenabilidade Superficial .....  | 41 |
| 3.4.5. | Ruído .....  | 42 |
| 3.5.   | Avaliação da Capacidade Estrutural .....   | 43 |
| 3.6.   | Sistema de Avaliação de Qualidade e Estratégias .....                            | 45 |
| 3.6.1. | Avaliação da Qualidade de Pavimentos Flexíveis .....                             | 45 |
| 3.6.2. | Avaliação da Qualidade de Pavimentos de Blocos Prefabricados de Betão ....       | 48 |
| 3.6.3. | Avaliação de estratégias .....   | 50 |
| 3.7.   | Considerações Finais .....   | 56 |
| 4.     | <b>TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS</b> .....                               | 57 |
| 4.1.   | Considerações Iniciais .....   | 57 |
| 4.2.   | Conservação Parcial da Superfície de Pavimentos Flexíveis .....                  | 58 |
| 4.2.1. | Reparações localizadas .....   | 58 |
| 4.2.2. | Selagem individual de fendas .....   | 59 |
| 4.2.3. | Fresagem da camada de desgaste .....   | 61 |
| 4.2.4. | Abertura e tapamento de valas .....  | 62 |
| 4.3.   | Conservação Contínua das Características Superficiais de Pavimentos Flexíveis .. | 65 |
| 4.3.1. | Revestimentos superficiais betuminosos .....                                     | 66 |
| ▪      | Revestimento superficial simples .....   | 68 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| ▪      | Revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado .....  | 68  |
| ▪      | Revestimento superficial duplo.....   | 69  |
| ▪      | Revestimento superficial simples com aplicação prévia de agregado .....                                       | 69  |
| 4.3.2. | Microaglomerado betuminoso a frio ou “Macro-seal” .....   | 69  |
| 4.3.3. | Lama asfáltica ou “Slurry-seal” .....   | 71  |
| 4.3.4. | Membrana de Proteção ou “Fog-seal” .....  | 71  |
| 4.3.5. | Microbetão betuminoso rugoso ou AC 10 surf ligante (mBBr) .....   | 72  |
| 4.3.6. | Argamassa betuminosa ou AC 4 surf ligante (AB) .....  | 73  |
| 4.3.7. | Betão betuminoso drenante ou <i>Porous Asphalt</i> (PA 12,5 ligante) .....                                    | 73  |
| 4.4.   | Técnicas Inovadoras de Conservação de Pavimentos Flexíveis .....  | 74  |
| 4.4.1. | Conservação parcial .....   | 75  |
| ▪      | Reparação localizada com painéis radiantes de infravermelhos.....   | 75  |
| ▪      | Reparação localizada com projeção de mistura betuminosa ou JetPatcher .....                                   | 76  |
| 4.4.2. | Conservação Contínua .....  | 78  |
| ▪      | Camadas betuminosas finas e ultra finas .....   | 78  |
| ▪      | Camada betuminosa com betume modificado com alta percentagem de<br>granulado de borracha (BMBAP) .....        | 79  |
| ▪      | Misturas betuminosas temperadas e semitemperadas.....   | 81  |
| 4.5.   | Seleção da Técnica de Conservação para Pavimentos Flexíveis .....   | 82  |
| 4.6.   | Conservação de Pavimentos de Blocos .....   | 86  |
| 4.7.   | Considerações Finais.....   | 88  |
| 5.     | ORGANIZAÇÃO DO MANUAL.....  | 89  |
| 5.1.   | Considerações Iniciais.....   | 89  |
| 5.2.   | Estrutura do Manual .....   | 89  |
| 5.3.   | Considerações Finais.....   | 94  |
| 6.     | CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....   | 97  |
| 6.1.   | Conclusão e Síntese do Trabalho .....   | 97  |
| 6.2.   | Trabalhos Futuros.....  | 97  |
| 6.3.   | Considerações Finais.....   | 98  |
|        | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 99  |
|        | NORMAS .....  | 104 |
|        | SÍTIOS DA INTERNET.....   | 105 |
|        | ANEXOS .....  | 109 |
|        | ANEXO I – Materiais, função e mecanismos de degradação das camadas de um<br>pavimento e da sua fundação ..... | 110 |
|        | ANEXO II – Níveis de degradação de pavimentos de blocos .....   | 111 |
|        | ANEXO III – Exemplo de cálculo do PCI.....  | 112 |
|        | ANEXO IV – Ações de Conservação ou Manutenção .....   | 114 |
|        | ANEXO V – Ficha de Levantamento de Degradações em Pavimentos Flexíveis.....                                   | 115 |
|        | ANEXO VI – Ficha de Levantamento de Degradações em Pavimentos de Blocos .....                                 | 116 |
|        | ANEXO VII – Proposta de Manual .....  | 117 |





## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Constituição de um pavimento (Branco et al, 2011)  | 3  |
| Figura 2.2 – Estruturas tipo de pavimentos flexíveis  | 4  |
| Figura 2.3 - Calçada de blocos de granito no Largo D. Dinis (esquerda) e seixo rolado na Rua Couraça de Lisboa (direita)                                  | 5  |
| Figura 2.4 -Seixo rolado na Rua da Alegria em Coimbra (esquerda) e numa das ruas da Madeira (centro) e lajedo na Rua Ferreira Borges em Coimbra (direita) | 6  |
| Figura 2.5 - Calçadinha na Rua Visconde da Luz (esquerda), Largo D. Dinis (centro) e Calçada Martim de Freitas (direita)                                  | 6  |
| Figura 2.6 - Técnicas de execução e dimensões, da calçada portuguesa (DGEG, 2009)   | 7  |
| Figura 2.7 - Aspeto e perfil transversal tipo de um pavimento em calçada portuguesa   | 8  |
| Figura 2.8 - Pavimentos em BPB (Arc14;Ack14;Vir14)  | 9  |
| Figura 2.9 -Perfil transversal tipo de um pavimento em BPB e formato dos BPB (Pre14)  | 9  |
| Figura 2.10 - Tipos de travamento em pavimentos de BPB (Pavs14)   | 10 |
| Figura 2.11 - Rodeiras de pequeno raio e esquematização das diferentes causas de formação das rodeiras (Gardete, 2006; Pave14)                            | 12 |
| Figura 2.12- Deformações localizadas (Pavem14; Pav14 ; Lga14)   | 12 |
| Figura 2.13 – Abatimento longitudinal (berma) e transversal ( Asp14; Dot14; Faa14)  | 13 |
| Figura 2.14 – Ondulação em pavimentos flexíveis (Cla14; Faa14)  | 14 |
| Figura 2.15 - Fenda longitudinal no eixo da via e fenda longitudinal lateral (CEPSA, 2007)  | 14 |
| Figura 2.16 - Fendas transversais (EP, 2008)  | 15 |
| Figura 2.17 - Pele de crocodilo (EP, 2008)  | 16 |
| Figura 2.18 - Desagregação superficial (EP, 2008)   | 16 |
| Figura 2.19- Cabeça de gato (Figueiredo, 2011)  | 17 |
| Figura 2.20- Peladas (EP, 2008)   | 17 |
| Figura 2.21 - Ninhos ou covas (EP, 2008; CEPSA, 2007; Pav14)  | 18 |
| Figura 2.22 - Exsudação do betume (EP, 2008)  | 18 |
| Figura 2.23 - Subida de finos (EP, 2008)  | 19 |
| Figura 2.24 - Desprendimento dos agregados (CEPSA, 2007; Por14)   | 19 |
| Figura 2.25 - Polimento dos agregados (EP, 2008)  | 20 |
| Figura 2.26 - Rodeiras em pavimentos de blocos (Joh14; Hein, et al., 2009)  | 21 |
| Figura 2.27 - Depressões em pavimentos de blocos (For14; ICPI & ARA, 2007)  | 22 |
| Figura 2.28 – Escalonamento de blocos (Bah14; ICPI & ARA, 2007)   | 22 |
| Figura 2.29 - Empolamento em pavimento de blocos (ICPI&ARA, 2007)   | 22 |
| Figura 2.30- Reparações em pavimentos de blocos de betão (ICPI&ARA, 2007)   | 23 |
| Figura 2.31 – Pavimentos com blocos danificados (Inr14; ICPI&ARA, 2007)   | 24 |
| Figura 2.32 - Desprendimento de elementos (ICPI&ARA, 2007)  | 24 |
| Figura 2.33 – Ausência de confinamento lateral (ICPI & ARA, 2007)   | 24 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 2.34 – Largura excessiva das juntas (ICPI&ARA, 2007)  | 25 |
| Figura 2.35 - Arrastamento horizontal em pavimentos de blocos de betão (ICPI&ARA, 2007)  | 25 |
| Figura 2.36 - Subida de finos em pavimentos de blocos (ICPI&ARA, 2007)   | 26 |
| Figura 3.1 - Extrato do catálogo de degradações da EP (EP, 2008)   | 31 |
| Figura 3.2 - Extrato do manual do ICPI (ICPI & ARA, 2007)  | 31 |
| Figura 3.3 - Fichas de levantamento de pavimentos flexíveis e de blocos  | 33 |
| Figura 3.4 - Equipamento VIZIROAD da EP (Horta et al, 2013)  | 33 |
| Figura 3.5 - Diferentes domínios da textura superficial (Menezes, 2008)  | 35 |
| Figura 3.6 – Material e modo de espalhamento da areia ou esferas (Specht, et al., 2007; Aus14)   | 36 |
| Figura 3.7 - Equipamento Pêndulo Britânico (Tec14; Alves, 2007)  | 37 |
| Figura 3.8- Equipamento Grip-tester (FIND,2014)  | 38 |
| Figura 3.9- Equipamento e esquemas do funcionamento do SCRIM (Gin14; Wdm14; Eur14)   | 38 |
| Figura 3.10 - Régua horizontal e vertical (Con14; Col14)   | 39 |
| Figura 3.11 - Equipamento Perfilómetro Laser da EP (Horta, et al., 2013; Lne14)  | 40 |
| Figura 3.12 – Equipamento perfilómetro inercial (Branco, et al., 2011; Vec14)  | 40 |
| Figura 3.13- Permeâmetro e esquema do mesmo (Jet14; Alves, 2007)   | 41 |
| Figura 3.14- Medidor do escoamento e esquema do mesmo (Pave14; Alves, 2007)  | 42 |
| Figura 3.15 - Método estatístico de Passagem ou SPB (Hig14; Alves, 2007)   | 43 |
| Figura 3.16 - Sondagem por rotação e abertura de poço (Bernucci et al, 2008)   | 44 |
| Figura 3.17 – Equipamento Georadar e modo de funcionamento (Geo14; LNEC, 2005)   | 45 |
| Figura 3.18 - Deflectómetro de impacto (Cpr14; Tec14)  | 45 |
| Figura 3.19- Fluxograma de determinação do PCI (adaptado de ICPI&ARA, 2007)  | 49 |
| Figura 3.20- Curva de dedução para as depressões (ICPI & ARA, 2007)  | 49 |
| Figura 3.21 - Exemplo para determinação do CDV de forma iterativa (AASHTO, 1993)   | 50 |
| Figura 3.22 – Evolução do IQ e custos totais consoante a estratégia (Pereira et al, 2006)  | 52 |
| Figura 3.23 - Matriz probabilística de transição (Hassan et al, 2014)  | 53 |
| Figura 3.24 - Gráfico com a percentagem de degradações (esquerda) e curva de degradação (direita), de uma via, em cada ano (Hassan et al, 2014)      | 54 |
| Figura 3.25 - Estratégias de conservação de pavimentos rodoviários (Minhoto, 2005)   | 56 |
| Figura 4.1 - Procedimentos de execução de reparação localizada (Pav14)   | 59 |
| Figura 4.2 - Selagem individual de fendas sem serragem (imagem da direita) e com serragem (imagem da esquerda) (adaptado de Asphalt-Institute, 2009) | 60 |
| Figura 4.3 - Procedimentos inerentes à selagem individual de fendas (Transportation, 1999)   | 61 |
| Figura 4.4 – Esquema representativo da fresagem de pavimentos (Wir14)  | 62 |
| Figura 4.5- Equipamento de corte e de corte e fresagem (direita) das camadas betuminosas (Abc14; Capitão, 2014)                                      | 63 |
| Figura 4.6 - Diferentes camadas de preenchimento das valas, adaptado de (SÉTRA/LCPC, 2005)   | 64 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 4.7 - Procedimentos de abertura e tapamento de valas em pavimentos flexíveis (Stuchi, 2005)  | 65 |
| Figura 4.8 – Execução de um revestimento superficial simples (esquerda), constituição e textura superficial dos revestimentos superficiais (direita) (Picado dos Santos, 2011; Figueiredo, 2011)  | 67 |
| Figura 4.9 - Aplicação e aspeto final do microaglomerado betuminoso a frio (Seixas, 2006)   | 70 |
| Figura 4.10 – Aplicação e aspeto final da lama asfáltica (Dpw.lacounty)   | 71 |
| Figura 4.11 – Esquema e aspeto de aplicação da membrana de proteção (CDM, 2003)   | 72 |
| Figura 4.12 – Aplicação e aspeto do betão betuminoso drenante (Pavi14; Ter14; Apa14)  | 74 |
| Figura 4.13 - Procedimentos de reparação localizada com infravermelhos (Ray14)  | 76 |
| Figura 4.14 - Ilustração do equipamento JetPatcher (Jetp14)   | 77 |
| Figura 4.15 – Procedimentos de reparação de uma cova com projeção de mistura betuminosa (Jetp14)  | 78 |
| Figura 4.16 - Etapas do fabrico de mistura betuminosa com BMBAP, processo húmido (Rodrigues, 2012)  | 80 |
| Figura 4.17 - Classificação das misturas betuminosas em função da temperatura de produção (Pereira, 2010)   | 81 |
| Figura 4.18 – Extrato da matriz de eficiência dos tratamentos superficiais para pavimentos flexíveis do LNEC (LNEC, 2008)   | 83 |
| Figura 4.19 - Extrato da matriz de decisão das técnicas de tratamentos superficiais da EP (EP, 2012)  | 83 |
| Conforme se pode verificar na matriz da Figura 4.20, uma camada betuminosa AC10surf com 35mm de espessura, quando aplicada para conferir resistência à derrapagem, melhora muito as características superficiais do pavimento e corrige ou elimina a anomalia a curto ou médio prazo. | 83 |
| Figura 4.21 - Operações de conservação de pavimento de blocos (ABCP, 2010)  | 86 |
| Figura 4.22 – Procedimentos de reposição das camadas do pavimento de blocos (Pro14; ICPI, 1996)   | 87 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Disposição dos BPB (Morgado, 2008; Capitão, 2011)  | 9  |
| Tabela 3.1 - Variação do custo para o utente da estrada, valores de 2007 (Santos B., 2007)                                    | 27 |
| Tabela 3.2 - Informação de inventário (adaptado de Ferreira, 2006)  | 29 |
| Tabela 3.3 - Influência das características superficiais (adaptado de Azevedo, 2010)  | 34 |
| Tabela 3.4 – Valores mínimos de MTD em pavimentos flexíveis (EP, 2009)  | 36 |
| Tabela 3.5 - Dados para avaliação da qualidade (Picado dos Santos, 2012)  | 47 |
| Tabela 3.6 - Valores de IRI na ausência de medição direta (Figueiredo, 2011; Picado dos Santos, 2012)                         | 47 |
| Tabela 3.7 - Avaliação da qualidade do pavimento através do IQ (adaptado de Picado dos Santos, 2012)                          | 48 |
| Tabela 3.8 – Intervalos do PCI e do IQ (Figueiredo, 2011; Picado dos Santos, 2011; Milestones, 2009; Asphalt-Institute, 2009) | 54 |
| Tabela 3.9 - Características das vias de gestão municipal (CCDRN, 2008)   | 55 |
| Tabela 3.10 – Matriz de decisão (Figueiredo, 2011; Picado dos Santos, 2011; Milestones, 2009; Asphalt-Institute, 2009)        | 55 |
| Tabela 4.1 - Seleção do método de selagem individual de fendas ( adaptado de Yildirim, et al., 2006)                          | 60 |
| Tabela 4.2- Características dos agregados e taxa de aplicação do agregado e ligante (Figueiredo, 2011)                        | 68 |
| Tabela 4.3 – Importância das alternativas relativamente aos critérios (Figueiredo, 2011)                                      | 84 |
| Tabela 4.4 – Técnica de conservação em função do IQ e do tipo de via (adaptado de Figueiredo, 2011)                           | 85 |
| Tabela 5.1- Famílias de degradações de pavimentos flexíveis e de blocos (adaptado de Branco, et al., 2011)                    | 90 |
| Tabela 5.2 - Classificação das relações entre as degradações e os fatores de degradação (Branco, et al., 2011)                | 91 |
| Tabela 5.3 – Tipos de degradações e os fatores de degradação de pavimentos de blocos (adaptado de ICPI & ARA, 2007)           | 92 |
| Tabela 5.4 - Correspondência entre as características superficiais a levantar e o equipamento/ensaio utilizado                | 93 |

## ABREVIATURAS

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

BMB – Mistura Betuminosa com Borracha

BMBAP - Mistura Betuminosa de Borracha com Alta Percentagem de Borracha

BPB – Blocos Prefabricados de Betão

BPN – British Pendulum Number

CAL – Coeficiente de Atrito Longitudinal

CAT – Coeficiente de Atrito Transversal

CBR – California Bearing Ratio

CC – Custos de Conservação

CDV – Valor Deduzido Corrigido

COV – Custos de Operação dos Veículos

CTP – Custos de Tempo de Percurso

CUE – Custos do Utente da Estrada

DV – Valor Deduzido

EP – Estradas de Portugal, S.A.

ETD – Estimated Texture Depth

GN – Grip Number

GPS – Sistema de Posicionamento Global

HDV – Máximo Valor Deduzido

ICPI – Interlocking Concrete Pavement Institute

IQ – Índice de Qualidade

IRI – International Roughness Index

LL – Limite de Liquidez

LP – Limite de Plasticidade

MACOPAV – Manual de Conceção de Pavimentos

MPT – Matriz Probabilística de Transição

MTD – Profundidade Média da Textura

NMQ – Nível Mínimo de Qualidade

OT – Tempo de Escoamento

PCI–Pavement Condition Index

PSI – Present Serviceability Index

SCRIM – Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine

SFC – Sideways Force Coefficient

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SMA – Stone Mastic Asphalt

SPBI – Statistical Pass- By Index

TAL – Thin Asphalt Layers

TDV – Valor Deduzido Total

TMDA – Tráfego Médio Diário Anual

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Durante muitos anos o investimento público em novas estradas em Portugal foi muito elevado, relegando a conservação das vias existentes para segundo plano. O aumento de custos dos materiais e os sucessivos cortes orçamentais, no que respeita à conservação de pavimentos rodoviários, são alguns fatores que contribuem significativamente para a tomada de decisão na adoção de metodologias de conservação.

A avaliação da qualidade de pavimentos e os processos de tomada de decisão em relação à técnica de conservação a utilizar, exigem conhecimento técnico e ferramentas de trabalho específicas, que a generalidade dos Municípios não possui. Como a rede rodoviária municipal é geralmente caracterizada pela existência de tráfego pesado reduzido, exceto, por exemplo, nos percursos destinados a transportes públicos e nos acessos a parques industriais, afigura-se útil reunir num documento de apoio informação que permita aos decisores técnicos e políticos municipais aplicarem metodologias eficazes e, ao mesmo tempo, simples.

O manual, cuja estrutura se propõe nesta dissertação, pretende responder às necessidades dos técnicos municipais de forma simples e eficaz, servindo como um guia no processo de escolha das intervenções de conservação rodoviária para pavimentos flexíveis e de blocos. Além disso, procura dar orientações sobre o instante em que as ações de conservação devem ser executadas, tendo por base uma metodologia simples de avaliação da qualidade e de previsão da evolução do estado de conservação, tornando mais objetivo o processo de tomada de decisão no âmbito da conservação de pavimentos rodoviários.

## 1.2. Objetivos e Metodologia

O objetivo desta dissertação é reunir informação acerca de pavimentos flexíveis e de blocos, designadamente sobre a sua constituição, comportamento, fatores que contribuem para o desenvolvimento de patologias, métodos simplificados de avaliação da qualidade de pavimentos, avaliação de estratégias de conservação a adotar e seleção das técnicas de conservação.

A informação a recolher e sistematizar tinha por objetivo servir de base para a realização de um manual de conservação para redes rodoviárias municipais, cuja estrutura seria desenvolvida nesta dissertação. Pretende-se uma proposta de manual intuitiva e fácil de perceber por técnicos municipais não especializados, de modo a auxiliá-los na adoção de metodologias de conservação adequadas ao estado dos pavimentos existentes, tendo em conta determinada política de conservação definida pelo município.

Assim, a metodologia de trabalho consistiu, numa primeira fase, em fazer um resumo acerca da constituição e do comportamento dos pavimentos flexíveis e de blocos, e das patologias que

---

afetam estes pavimentos, por forma a introduzir os conceitos necessários para a realização da avaliação do estado de conservação.

Para efetuar a avaliação da qualidade é necessário conhecer a rede viária. Assim, elaborou-se uma revisão bibliográfica sobre algumas técnicas de inventário da rede e do levantamento visual das degradações e das características superficiais. Os procedimentos recolhidos permitem estabelecer o índice de qualidade dos pavimentos das vias e, posteriormente, possibilitam aos técnicos municipais estabelecer planos de conservação dos pavimentos da rede.

A recolha de informação na bibliografia estendeu-se também à descrição e análise das técnicas de conservação de pavimentos existentes no mercado, incluindo a apresentação de um procedimento de escolha da técnica a adotar, e de previsão simplificada da evolução do estado dos pavimentos num período de análise de médio prazo.

### **1.3. Estrutura da dissertação**

Esta dissertação é composta por seis capítulos e sete anexos, cujos conteúdos se descrevem de seguida.

No capítulo 1 faz-se uma introdução do trabalho, os objetivos inerentes à sua realização e a apresentação da estrutura do mesmo.

No capítulo 2 reúne-se informação relativa aos tipos de pavimento flexíveis e de blocos, a sua constituição em termos de materiais utilizados, e patologias que se desenvolvem neste tipo de pavimentos ao longo do tempo que estão em serviço.

No capítulo 3 apresenta-se informação relativa aos meios utilizados para a execução do inventário da rede rodoviária, o levantamento visual das degradações e o levantamento das características superficiais, assim como os pressupostos inerentes à avaliação de qualidade e estratégias de intervenção simplificadas.

No capítulo 4 compilou-se informação acerca das técnicas de conservação de pavimentos flexíveis mais utilizadas em Portugal, modos de execução, materiais e equipamentos utilizados e condições de aplicabilidade. Apresentam-se também algumas técnicas inovadoras de conservação que podem ser uma boa solução para aplicação em vias municipais. Apresenta-se ainda uma metodologia simples de seleção da técnica de conservação com base em critérios de custo-benefício, consoante o tipo de via e o índice de qualidade do pavimento. Este capítulo termina com uma descrição das ações de conservação a realizar em pavimentos de blocos.

No capítulo 5 apresenta-se a estrutura do manual a elaborar para servir de guia no processo de avaliação da qualidade dos pavimentos, da escolha das intervenções de conservação e do prazo para execução das mesmas.

No capítulo 6 apresenta-se um resumo do trabalho, referindo as principais conclusões e os trabalhos futuros a realizar.



No anexo I e II apresentam-se tabelas com os materiais constituintes, função e principais mecanismos de degradação das camadas de um pavimento e da sua fundação e níveis de degradação de pavimentos de blocos, respetivamente.

No anexo III apresenta-se um exemplo de cálculo do PCI e no anexo IV uma tabela com ações de conservação ou manutenção consoante a patologia existente no pavimento de blocos.

Nos anexos V e VI apresentam-se as fichas de levantamento de degradações em pavimentos flexíveis e de blocos, respetivamente.

Por fim no anexo VII apresenta-se uma proposta para o manual.



## 2. PATOLOGIAS DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS E DE BLOCOS

### 2.1. Considerações iniciais

O pavimento é uma das partes da obra rodoviária mais sujeita a ações agressivas. É também aquela mais sujeita a sofrer degradações, as quais devem ser evitadas ou rapidamente reparadas (Branco et al, 2011).

A função essencial de um pavimento rodoviário é assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período de vida do pavimento, sob a ação das ações de tráfego, e nas condições climáticas que ocorram (Branco et al, 2011).

Os fatores principais que contribuem para a degradação dos pavimentos e que alteraram as suas características iniciais, são o tráfego, as condições ambientais e climáticas, a drenagem deficiente, o mau dimensionamento, a execução da estrutura de forma inadequada e a formulação deficiente dos materiais.

À medida que o pavimento envelhece, os mecanismos de degradação começam a fazer-se notar. Estes podem ser superficiais, afetando o comportamento funcional da superfície do pavimento, colocando em causa a segurança e comodidade dos utilizadores, ou estruturais, afetando o comportamento estrutural do pavimento, podendo conduzir à ruína do mesmo. A repetição sucessiva das condições que originam degradações no pavimento faz com que uma degradação evolua, aumentando a percentagem de área de pavimento afetada, a diversidade de patologias existentes e a gravidade das mesmas.

### 2.2. Constituição de Pavimentos Flexíveis

Um pavimento rodoviário é uma estrutura constituída por um conjunto de camadas de espessura finita, apoiadas num maciço semi-indefinido, o solo de fundação (Francisco, 2012).

A Figura 2.1 esquematiza a constituição de um pavimento flexível e as indica as principais ações a que este está sujeito.

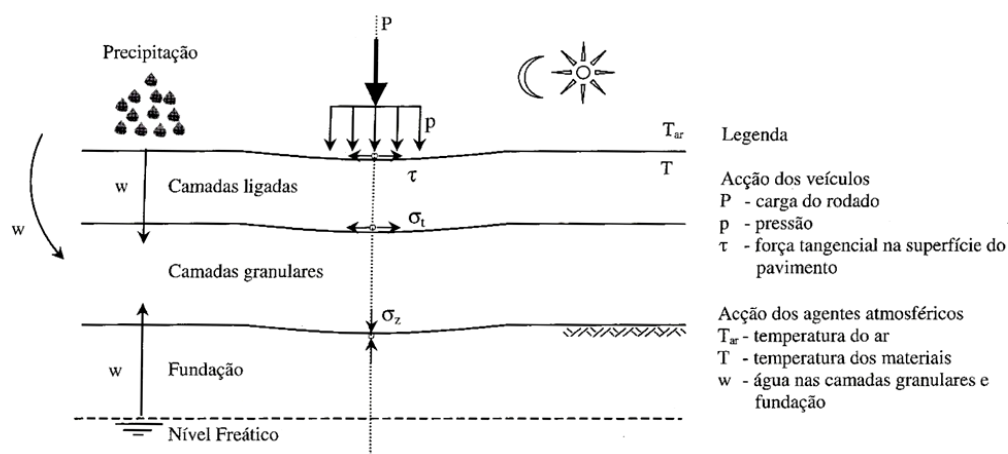


Figura 2.1 - Constituição de um pavimento (Branco et al, 2011)

Os pavimentos flexíveis apresentam as camadas superiores formadas por misturas betuminosas, ou seja, por materiais estabilizados com ligantes hidrocarbonados, geralmente o betume asfáltico, seguidas inferiormente de uma ou duas camadas constituídas por material granular (Branco et al, 2011).

O Manual de Conceção de Pavimentos para Rede Rodoviária Nacional (MACOPAV) define dois tipos de estruturas para pavimentos flexíveis: pavimentos com base betuminosa e pavimentos com base granular, conforme ilustrado na Figura 2.2.

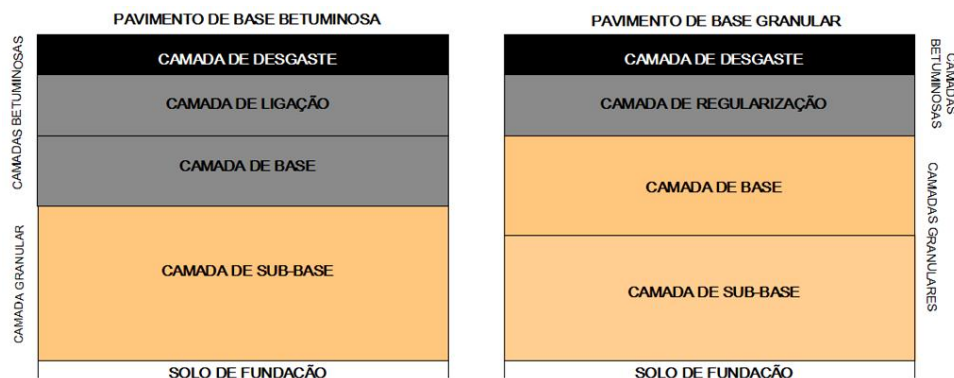


Figura 2.2 – Estruturas tipo de pavimentos flexíveis

As camadas superiores betuminosas ligadas (com coesão) variam em função da estrutura do pavimento. Em geral este inclui a camada de desgaste, a camada de ligação, a camada de regularização e a camada de base, as quais são compostas por agregados e ligantes hidrocarbonados. As camadas devem ter um módulo de deformabilidade considerável e boa resistência à tração, à compressão e ao corte. Esta resistência depende das propriedades das misturas, das variações de temperatura, da ação da água, da ação do tráfego, entre outros.

As camadas inferiores de base e sub-base não ligadas, cuja resistência depende muito do atrito interno entre as partículas, são compostas por material granular e/ou solos selecionados que, juntamente com o solo de fundação, conferem ao pavimento resistência às tensões de compressão e de corte. Esta resistência depende das propriedades das partículas e da mistura (dimensões, forma, teor em água), escorregamento interpartículas (rotação e translação), entre outros.

O funcionamento estrutural de um pavimento flexível depende das características dos materiais constituintes de cada camada e das características das suas interfaces. Na Tabela A.1, do anexo I, apresenta-se um resumo dos materiais constituintes de cada camada de um pavimento, a sua função e os principais mecanismos de degradação.

Através da aplicação da rega de colagem sobre uma camada betuminosa antes da aplicação da seguinte, garante-se o seu funcionamento solidário. Quando o pavimento é submetido à ação dos rodados dos veículos, ocorre um nível máximo de tensões de compressão na face superior da camada de desgaste, desenvolvendo-se tensões de tração na zona inferior da estrutura, com valores tendencialmente máximos na face inferior da última camada.

Nas camadas granulares os esforços de compressão são máximos à superfície e diminuem em profundidade, dependendo das características resistentes das camadas do pavimento.

Quando as camadas betuminosas não estão solidárias, o estado de tensão é agravado, contribuindo para a evolução das degradações do pavimento, uma vez que as tensões máximas de tração na face inferior das camadas betuminosas podem ser superiores às tensões admissíveis do material e a camada de desgaste pode estar sob esforços para os quais não foi concebida.

### 2.3. Constituição de Pavimentos de Blocos

Os pavimentos de blocos podem ser, construídos com elementos de pedra natural ou de blocos prefabricados em betão. Estas técnicas de construção viária têm origem na calçada do antigo Império Romano, tendo mantido alguma importância ao longo do tempo, pela necessidade de utilização destes pavimentos em projetos de requalificação urbana.

A calçada é um pavimento cuja camada de desgaste é formada por blocos de pedra natural, usualmente, de granito, calcário ou basalto, ou produzidos a partir da rocha predominante na região, de forma a cumprir um conjunto de requisitos. A função desta camada é assegurar uma adequada circulação rodoviária, garantir a impermeabilização das camadas inferiores, distribuição de tensões por intermédio das suas características de travamento e suportar as tensões de corte superficiais originadas pelo contacto das rodas dos veículos. Nesta camada inclui-se ainda a almofada de areia ou pó de pedra, cuja função é proporcionar boas condições de assentamento dos blocos e evitar a propagação de fendas das camadas ligadas subjacentes quando existem. Existem ainda juntas entre os blocos, fechadas com argamassa de cimento e areia, pó de pedra ou apenas areia.

A aplicação deste tipo de soluções de pavimentação procura responder à necessidade de conciliar o cariz histórico da zona urbana e a adequabilidade em termos de circulação viária. Na Figura 2.3 apresentam-se alguns exemplos daquele tipo de pavimentos existentes em Coimbra.



Figura 2.3 - Calçada de blocos de granito no Largo D. Dinis (esquerda) e seixo rolado na Rua Couraça de Lisboa (direita)

A natureza da rocha utilizada na execução da calçada condiciona as características físicas deste tipo de pavimentos (Pimenta, 2008):

- Granito – rocha muito resistente mecanicamente, resistente às intempéries e à poluição;

- Basalto – elevada resistência à compressão e às intempéries, muito difícil de trabalhar, mas suscetível à erosão;
- Calcário – fraca resistência a produtos químicos, resistência a abrasão geralmente fraca, embora variável consoante origem da rocha.

A aplicação da rocha natural, em diversos formatos, é uma solução de pavimentação comum em Portugal, particularmente em zonas urbanas centrais. O pavimento com seixos e blocos rolados, e o lajedo são exemplos disso, tal como se ilustra na Figura 2.4.



Figura 2.4 -Seixo rolado na Rua da Alegria em Coimbra (esquerda) e numa das ruas da Madeira (centro) e lajedo na Rua Ferreira Borges em Coimbra (direita)

As camadas de base e sub-base deste tipo de pavimento são constituídas por material granular e/ou material granular estabilizado com ligantes hidráulicos (betão pobre, betão de elevada resistência, solo-cimento) que suportam as tensões distribuídas a partir da camada de desgaste, distribuem-nas para a fundação, de modo a reduzir as deformações permanentes.

### 2.3.1. Calçada portuguesa

A calçada portuguesa, ou calçadinha, é uma herança histórica da cultura e da tecnologia de construção dos Romanos. A tecnologia utilizada teve origem em Portugal, em meados do século XIX, sendo uma forma tradicional de revestimento com blocos de pedra de forma irregular, geralmente de calcário ou basalto, ou da rocha predominante na região. Hoje é considerada um fenómeno artístico, estando presente em praças, parques e artérias principais de zonas centrais urbanas de todo o país, com padrões decorativos devido ao contraste entre blocos de distintas cores.

Este tipo de pavimentos é mais utilizado para zonas de circulação pedonal. No entanto, é também utilizado para ruas com circulação rodoviária, em vias com trânsito condicionado, como é o caso da rua Visconde da Luz, em Coimbra, conforme se apresenta na Figura 2.5.



Figura 2.5 - Calçadinha na Rua Visconde da Luz (esquerda), Largo D. Dinis (centro) e Calçada Martim de Freitas (direita)



A tipologia a eleger depende em muito do tipo de pavimento a que se destina a calçada. Para pavimentar vias de circulação pedonal são recomendáveis blocos com dimensão da ordem de 4 a 7 cm. Para pavimentar vias com circulação de veículos, normalmente aplicam-se blocos com dimensão da ordem de 8 a 13 cm.

Existem empedrados feitos com blocos de pedra calcária de quaisquer dimensões, assentes de modo aleatório. O assentamento em quadrado ou fiada tem também bastante aplicação, principalmente quando o calcário é utilizado em combinação com granito em passeadeiras para peões, ou em marcações em parques de estacionamento, por exemplo (DGEG, 2009).

Na Figura 2.6 apresentam-se as técnicas de disposição dos blocos neste tipo de pavimentos, a designação e as dimensões dos blocos de pedra.

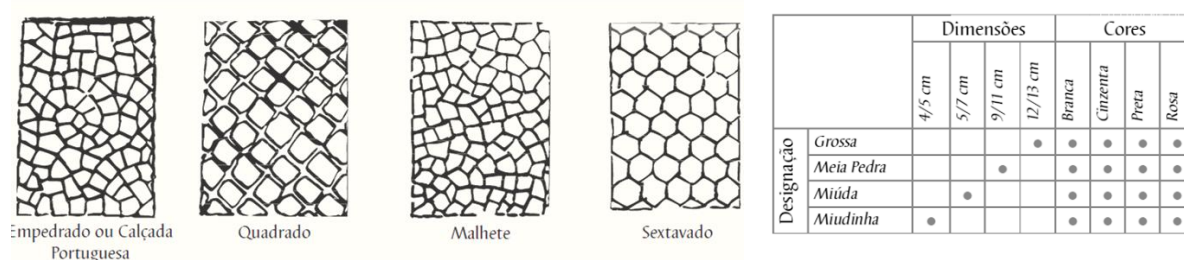


Figura 2.6 - Técnicas de execução e dimensões, da calçada portuguesa (DGEG, 2009)

O processo de construção é moroso devido ao grande número de peças a colocar. Quando inclui camadas estabilizadas com ligantes hidráulicos é necessário esperar que se atinja a resistência pretendida antes de entrar em serviço. A execução da calçada portuguesa envolve as operações que se enumeram abaixo (DGEG, 2009):

- 1º. Compactação do solo de fundação; se não apresentar a capacidade de suporte necessária, requer que se faça uma base em agregado britado de granulometria extensa (ABGE) compactado;
- 2º. Distribuição de uma camada de pó de pedra, ou de areia com 4 a 15 cm de altura (variável em função das dimensões utilizadas), para evitar as deformações do pavimento e o consequente arranque dos blocos;
- 3º. Assentamento dos blocos sobre a camada de pó;
- 4º. Execução de juntas (tamanho variável em função das dimensões utilizadas), as quais devem apresentar uma largura inferior a 0,5 cm, de forma a diminuir-se o risco da movimentação dos blocos;
- 5º. Fecho das juntas com pó de pedra, ou areia, ou com uma mistura de areia e cimento;
- 6º. Rega para que o material de preenchimento entre melhor nas juntas;
- 7º. Compactação com a placa vibratória, ou com o maço ou, em alguns casos, utilizando pequenos cilindros.

A calçada contribui para moderar a velocidade de circulação rodoviária, uma vez que o elevado número de juntas à superfície proporciona uma deslocação ruidosa e de médio conforto rodoviário. A resistência mecânica do pavimento depende da sua estrutura e da disposição dos blocos à superfície, devendo ser confinado para resistir melhor aos esforços horizontais. Na

Figura 2.7 ilustra-se um perfil transversal tipo de um pavimento em calçada portuguesa e o seu aspeto.



Figura 2.7 - Aspeto e perfil transversal tipo de um pavimento em calçada portuguesa

Quando a camada de base é estabilizada com ligantes hidráulicos consegue obter-se uma resistência maior. A calçada portuguesa pode resistir à ação do tráfego, quando adequadamente construída para esse fim (por exemplo em ruas de circulação pedonal com acesso de transportes públicos ou veículos de cargas e descargas) e à ação climática (blocos de pedra de elevada resistência). Geralmente, os pavimentos em calçada portuguesa são praticamente impermeáveis, sendo necessário prever uma boa drenagem da superfície.

### 2.3.2. Blocos prefabricados de betão

Com um comportamento estrutural semelhante aos pavimentos flexíveis, os BPB podem ser reparados sem deixar marcas. Trata-se de uma excelente alternativa, tanto do ponto de vista técnico como económico, além de ser uma opção intermédia entre os pavimentos rígidos e flexíveis (Morgado, 2008).

Trata-se de um pavimento, composto por elementos prefabricados de betão que pode ser mais rígido ou flexível consoante a base é estabilizada com ligantes hidráulicos ou é constituída por materiais granulares não tratados. Aqueles elementos são fabricados num leque cada vez maior de formas, dimensões, cores e acabamentos, tendo a possibilidade de imitar o aspeto visual de muitos tipos de pavimentos mais tradicionais, mas com melhor desempenho em termos de aderência, resistência e regularidade da superfície, e com a vantagem de ser muito mais económico (Pimenta, 2008).

Atualmente os revestimentos com blocos de betão prefabricados (BPB) têm uma utilização crescente na conceção daquele tipo de pavimentos, cuja aplicação está presente em passeios, zonas residenciais, parques de estacionamento, zonas industriais, entre outras.

Os blocos prefabricados de betão (BPB), têm dimensões (espessura de 55mm até 120 mm) e qualidade padronizadas, são versáteis, podendo ser utilizados em qualquer tipo de pavimento, pedonal, rodoviário e industrial, como se ilustra na Figura 2.8.





Figura 2.8 - Pavimentos em BPB (Arc14;Ack14;Vir14)

A norma NP EN 1338 (IPQ, 2009) contém os requisitos e métodos de ensaio dos blocos prefabricados de betão. Os BPB têm geralmente uma superfície antiderrapante, o que proporciona uma maior segurança em trechos inclinados ou com curvas, principalmente quando a superfície se encontra molhada. Os BPB permitem uma boa drenagem das águas pluviais e, ao mesmo tempo, evitam a completa impermeabilização do solo, pois as juntas podem possibilitar a infiltração de parte das águas que atingem o pavimento. É considerado, portanto, um piso ecológico (Morgado, 2008).

Há um certo consenso de que os formatos de contorno irregular, especialmente os que têm encaixes reentrantes, tendem a apresentar menor deformação permanente vertical porque, quando em carga, distribuem os esforços para as peças vizinhas. Os pavimentos revestidos por blocos de maior espessura (80mm) tendem a apresentar menor deformação permanente vertical e também maior travamento rotacional (Capitão, 2011).

Na Figura 2.9 apresenta-se um perfil transversal tipo de um pavimento em BPB e alguns formatos de blocos existentes no mercado.

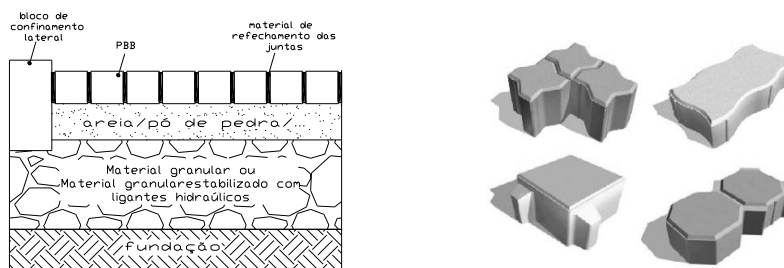







Figura 2.9 -Perfil transversal tipo de um pavimento em BPB e formato dos BPB (Pre14)

O formato, a espessura e o arranjo ou disposição dos BPB condicionam a capacidade de distribuição dos esforços da camada de desgaste. A Tabela 2.1 sintetiza os aspetos relativos à disposição dos blocos.

Tabela 2.1 - Disposição dos BPB (Morgado, 2008; Capitão, 2011)

| ESPINHA   |   | TRAMA   | FILEIRAS   |   |
|---|---|---|--|---|
|  |  <p>↑<br/>Sentido do tráfego</p> |  |  |  <p>↑<br/>Sentido do tráfego</p> |

A disposição em espinha consiste na colocação de pares de peças com ângulos de 45° a 90°, em relação ao alinhamento da via. Deve ser utilizada para zonas de tráfego intenso, uma vez que favorece o travamento horizontal, evitando assim o movimento das peças.

A disposição em fileiras, em que as peças são colocadas paralelamente, com juntas lineares, só deve ser utilizada em vias com baixo tráfego de pesados e em locais sem viragens e travagens/acelerações. A disposição das juntas é muito importante para o comportamento do pavimento. Quando existem juntas contínuas, estas devem ser perpendiculares ao sentido do tráfego, evitando-se juntas contínuas na direção do tráfego (Morgado, 2008).

A disposição em trama consiste na colocação de pares de peças perpendicularmente e é mais utilizado em zonas pedonais.

Um bom travamento confere aos blocos de betão a capacidade de transmitir as cargas superficiais aplicadas em pequenas áreas, para áreas mais extensas nas camadas de base, mantendo as tensões no leito do pavimento dentro dos limites admissíveis. A utilização do pavimento leva a um estado de travamento total, em que a camada de desgaste vai adquirindo maior rigidez (Morgado, 2008).

O travamento horizontal impede a translação dos blocos em torno do eixo horizontal que passa no centro de gravidade. O travamento pode ser melhorado aumentando a espessura dos blocos e o conseqüente confinamento oferecido pelos blocos vizinhos. O movimento dos blocos pode ser provocado ou agravado pela frequência e tipo de tráfego, principalmente em áreas de travagem e/ou aceleração, e em curvas onde existe um aumento da tensão radial provocada pelo arrasto dos pneus (Morgado, 2008).

O travamento vertical é a capacidade que os blocos adquirem de não se moverem verticalmente em relação aos blocos vizinhos, através da resistência ao corte vertical, em que o esforço é absorvido pelas juntas entre os blocos e a capacidade estrutural das camadas inferiores do pavimento (Morgado, 2008).

O travamento rotacional é a capacidade que os blocos adquirem de não girarem em torno de seu próprio eixo vertical, isto é, eventualmente, uma ou mais peças poderão girar, ainda que mantendo a superfície do pavimento plana. A Figura 2.10 ilustra os tipos de travamento em pavimento de BPB (Morgado, 2008).

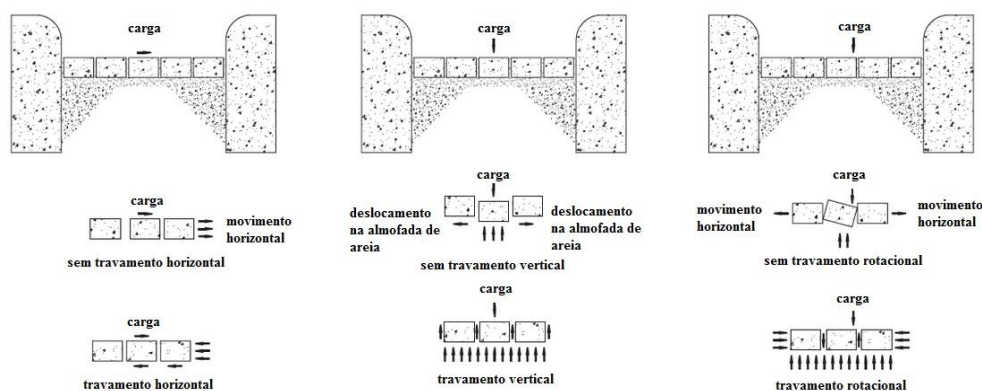


Figura 2.10 - Tipos de travamento em pavimentos de BPB (Pavs14)

## 2.4. Famílias de Patologias em Pavimentos Flexíveis

### 2.4.1. Considerações Iniciais

Os esforços instalados ao nível das diferentes camadas determinam, em geral, uma evolução, típica dos pavimentos flexíveis, em direção a dois estados últimos de ruína, o fendilhamento das camadas betuminosas e a deformação permanente das camadas em geral (Branco et al, 2011).

As degradações são geralmente consequência de uma inadequação do material ao uso, podendo este fenómeno ter origem, entre outros, em deficiências de projeto, drenagem mal concebida, materiais de qualidade duvidosa, colocação em obra deficiente. O desenvolvimento precoce de degradações é um indicador de que qualquer coisa correu mal, embora com o tempo em serviço seja de esperar a ocorrência de patologias (Ferreira, 2007).

O processo de evolução das degradações apoia-se numa cadeia de consequências. Uma degradação evolui ou dá origem a novos tipos de degradações, as quais, por sua vez, interferem com as características das degradações iniciais, aumentando a percentagem de patologias existentes, tanto em extensão como em gravidade.

As patologias nestes pavimentos podem classificar-se nas seguintes famílias:

- Deformações
- Fendilhamento
- Desprendimento e movimento de materiais

### 2.4.2. Deformações

Este tipo de degradações tem origem nas camadas granulares e no solo de fundação, ou nas camadas betuminosas. Incluem-se nesta família as rodeiras, os abatimentos longitudinais ou transversais à via, as ondulações e as deformações localizadas.

#### ▪ Rodeiras

São deformações transversais que se desenvolvem, visíveis na camada superior do pavimento, na zona dos rodados de veículos pesados (EP, 2008).

As rodeiras são de grande raio quando afetam grande parte da via. Em geral, este tipo de patologia tem origem nas camadas não ligadas do pavimento. As rodeiras de pequeno raio ocorrerem apenas nas camadas betuminosas e afetam uma largura relativamente pequena da via.

O aparecimento de rodeiras tem diferentes causas e consequências, consoante a deformação se dá nas camadas betuminosas ou nas camadas não ligadas, ilustrando-se o tipo de rodeiras na Figura 2.11.



Figura 2.11 - Rodeiras de pequeno raio e esquematização das diferentes causas de formação das rodeiras (Gardete, 2006; Pave14)

Algumas das causas que podem originar a formação de rodeiras enumeram-se de seguida (Silva, 2012; Maia, 2012):

- As **rodeiras de grande raio** surgem devido à deficiente capacidade de suporte das camadas granulares e da fundação, com ocorrência de deformações permanentes;
- As **rodeiras de pequeno raio** surgem devido a misturas betuminosas com insuficiente resistência às deformações permanentes (a ligante betuminoso em excesso ou pouco rígido, deficiente qualidade dos agregados);
- Compactação insuficiente das camadas em geral, tráfego canalizado lento e temperaturas elevadas.

Como consequência do desenvolvimento de rodeiras refere-se a hidroplanagem, a canalização do movimento dos veículos, o aumento progressivo da profundidade das rodeiras, o aparecimento de fendas longitudinais ou do tipo “pele de crocodilo”. As rodeiras de pequeno raio podem evoluir para cordões longitudinais, o que agrava a perda de conforto na viagem e o desgaste dos veículos (Silva, 2012; Maia, 2012).

### ▪ Deformações localizadas

Alterações de nível do pavimento, formando depressões ou elevações, podendo surgir isoladamente em diferentes pontos do pavimento (EP, 2008). Na Figura 2.13 é visível o aspeto de deformações localizadas.



Figura 2.12- Deformações localizadas (Pavem14; Pav14 ; Lga14)

Algumas das causas que podem originar a formação de deformações localizadas são a capacidade de suporte deficiente das camadas estruturais do pavimento, em particular das camadas granulares, a falta de capacidade de suporte do solo de fundação (existência de bolsas de argila, estado hídrico elevado, drenagem deficiente), falta de ligação entre as camadas,



utilização de misturas betuminosas pouco estáveis, existência de tensões tangenciais devidas à travagem e aceleração dos veículos com valor elevado, entre outras (Silva, 2012; Ascenso, 2011; Maia, 2012).

Como consequência do seu desenvolvimento refere-se o aumento progressivo da profundidade ou elevação na zona de deformação do pavimento, a acumulação de água na superfície do pavimento, o desprendimento da camada de desgaste, o fendilhamento do tipo pele de crocodilo em malha fina, o aumento da irregularidade longitudinal, a perda de conforto na viagem e o desgaste dos veículos (Silva, 2012; Ascenso, 2011; Maia, 2012).

### ▪ Abatimento

O abatimento é uma deformação que se desenvolve tanto longitudinalmente como transversalmente à faixa de rodagem e deve-se à deficiente capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação, respetivos materiais utilizados e, sobretudo, à entrada de água nestas camadas de pavimento (Freitas, 2012).

O abatimento longitudinal pode localizar-se ao longo do pavimento junto à berma ou junto ao eixo da faixa de rodagem. Na Figura 2.13 ilustra-se o abatimento longitudinal e transversal em pavimentos flexíveis.



Figura 2.13 – Abatimento longitudinal (berma) e transversal ( Asp14; Dot14; Faa14)

Algumas das causas que podem originar abatimentos (Alves, 2007; Maia, 2012; Silva, 2012):

- O **abatimento longitudinal** pode ocorrer por insuficiência de elementos de drenagem, resultando numa redução da capacidade de suporte das camadas granulares e do solo de fundação, relacionada com a entrada de água através da berma ou da interface berma – pavimento ou falta de ligação nas camadas betuminosas. Pode também ter origem numa compactação insuficiente na construção do pavimento, problemas de construção da camada superficial (por exemplo, má execução de juntas de trabalho), fendilhamento ao longo do eixo ou na berma, resultando numa redução da capacidade de suporte por infiltração de água até às camadas inferiores granulares e ao solo de fundação;
- O **abatimento transversal** dá-se devido ao colapso de cavidades subterrâneas, falhas localizadas no pavimento, existência de forças tangenciais decorrentes de travagens bruscas e da aceleração dos veículos e má execução de juntas.

Como consequência do desenvolvimento de abatimentos refere-se o aumento progressivo da sua profundidade, podendo conduzir à ruína do pavimento, o aumento da irregularidade

longitudinal, a hidroplanagem, a canalização do movimento dos veículos, a perda de conforto na viagem e o desgaste dos veículos (Alves, 2007; Maia, 2012; Silva, 2012).

### ▪ Ondulação

A ondulação é uma deformação da superfície do pavimento de forma sucessiva, alternando entre elevações e depressões. Surge com mais frequência em zonas de aceleração ou travagem (as ondas aparecem na direção da circulação do tráfego e desenvolvem-se transversalmente à faixa de rodagem). Tem como causa mais frequente os assentamentos diferenciais da fundação (má compactação), mas podem também ter origem na instabilidade das camadas betuminosas (má distribuição do ligante), na qualidade deficiente da camada de desgaste (quantidade excessiva de agregados finos, agregados pouco angulosos, demasiado betume) ou no arrastamento das camadas betuminosas por excessiva deformação plástica. Esta patologia provoca perda de conforto na viagem e desgaste dos veículos devido à vibração (Figueiredo, 2011; Ascenso, 2011). Na Figura 2.14 ilustram-se alguns exemplos de ondulações.



Figura 2.14 – Ondulação em pavimentos flexíveis (Cla14; Faa14)

### 2.4.3. Fendilhamento

O fendilhamento pode resultar da repetição de esforços de tração nas camadas betuminosas, diminuindo a qualidade estrutural do pavimento. Nesta família de patologias integram-se as fendas longitudinais, as fendas transversais e a pele de crocodilo.

### ▪ Fendas longitudinais

Fendas paralelas ao eixo da estrada, geralmente localizadas ao longo da zona de passagem dos rodados dos veículos e por vezes junto ao eixo (EP, 2008). Na Figura 2.15 ilustra-se este tipo de deformação.



Figura 2.15 - Fenda longitudinal no eixo da via e fenda longitudinal lateral (CEPSA, 2007)

Algumas das causas que podem originar a formação de fendas longitudinais são a drenagem deficiente, originando um diferencial de capacidade de suporte junto à berma, deficiente execução de juntas de construção, falta de ligação das camadas (má construção), a propagação de fendas provenientes da camada subjacente, misturas betuminosas muito rígidas ou envelhecimento precoce do ligante betuminoso e o início de fadiga das misturas betuminosas (Eugénio, 2008).

Como consequência do seu desenvolvimento refere-se o aumento da abertura e da ramificação das fendas, a desagregação dos seus bordos, a formação de desagregações, ninhos e peladas, e a subida de finos das camadas inferiores constituídas por materiais não tratados, provocada pela entrada de água e acelerada pelo tráfego (Eugénio, 2008).

### ▪ Fendas transversais

Fendas sensivelmente perpendiculares ao eixo da estrada, isoladas ou com um espaçamento variável, abrangendo parte ou toda a largura da faixa de rodagem (EP, 2008). Na Figura 2.16 ilustra-se este tipo de deformação.



Figura 2.16 - Fendas transversais (EP, 2008)

Algumas das causas que podem originar a formação de fendas transversais são a deficiente execução da junta transversal de construção, a deficiente compactação das camadas inferiores, a propagação de fendas de retração térmica dos materiais das camadas subjacentes, a capacidade de suporte heterogénea da fundação e a propagação até à superfície de uma junta transversal construtiva da camada subjacente em material tratado com ligante hidráulico quando existe. Como consequência do seu desenvolvimento refere-se o aumento da abertura e ramificação das fendas, a desagregação dos seus bordos, a formação de desagregações, ninhos e peladas, e a erosão da base da camada e subida de finos, provocada pela entrada de água e acelerada pelo tráfego (Eugénio, 2008).

### ▪ Pele de crocodilo

Fendas que formam entre si uma malha de dimensão variável (fina ou grossa), localizadas inicialmente na zona de passagem dos rodados dos veículos abrangendo progressivamente toda a largura da via de tráfego (EP, 2008). A Figura 2.17 ilustra este tipo de deformação.



Figura 2.17 - Pele de crocodilo (EP, 2008)

Algumas causas que podem provocar o desenvolvimento da pele de crocodilo são a fadiga dos materiais betuminosos, a falta de capacidade de suporte das camadas não ligadas e do solo de fundação, qualidade deficiente dos materiais, a falta de ligação das camadas por deficiente construção e a existência de materiais muito rígidos e/ou envelhecimento do ligante betuminoso, no caso dos revestimentos superficiais.

Como consequência do seu desenvolvimento refere-se o aumento da densidade das fendas, passando de malha larga para malha estreita, o aumento da abertura das fendas, a desagregação dos bordos das fendas, a formação de ninhos, peladas e desagregações, a subida de finos das camadas inferiores com materiais não tratados, provocada pela entrada de água e acelerada pelo tráfego e a formação de cavados de rodeira, por diminuição da capacidade de carga dos materiais (Eugénio, 2008).

#### 2.4.4. Desprendimento e movimento de materiais

Estas patologias têm origem nas camadas superficiais do pavimento. Nesta família de patologias integram-se a desagregação superficial, a cabeça de gato, as peladas, os ninhos, a subida de finos, a exsudação do betume, o desprendimento e o polimento dos agregados.

##### ▪ Desagregação superficial

A desagregação superficial é o arranque de uma das frações do agregado, geralmente a mais grossa, ou perda do mastic betuminoso (ligante e finos) (EP, 2008). Na Figura 2.18 ilustra-se este tipo de patologia.



Figura 2.18 - Desagregação superficial (EP, 2008)

O envelhecimento do ligante, a deficiente qualidade dos materiais da camada de desgaste, a segregação da mistura betuminosa, a falta de limpeza do agregado, o sobreaquecimento do betume na altura de fabrico da mistura betuminosa, a temperatura de compactação inadequada (baixa), a falta de adesividade ligante/agregado e a inexistência de compactação, são algumas



das causas que podem originar a desagregação superficial. Como consequências do seu desenvolvimento refere-se o aumento da área afetada, evoluindo em profundidade, a evolução progressiva para pelada, o desgaste de pneus e o ruído que provoca (Freitas, 2012).

### ▪ Cabeça de gato

A cabeça de gato é uma degradação que surge na camada de desgaste, devido à perda da componente mais fina da mistura betuminosa, na qual os agregados grossos ficam mais salientes, com o consequente aumento da macrotextura do pavimento, na presença de condições severas de tráfego devido às ações tangenciais elevadas, provocadas pelos pneus (Freitas, 2012; Ribeiro, 2012). A Figura 2.19 ilustra este tipo de patologia.



Figura 2.19- Cabeça de gato (Figueiredo, 2011)

Algumas causas que podem provocar o desenvolvimento da cabeça de gato são a perda rápida do mástique, a má qualidade dos materiais e da mistura betuminosa, a adesividade deficiente do conjunto agregado-betume e o tráfego elevado que provoca ações tangenciais também elevadas. Como consequência do seu desenvolvimento, refere-se o aumento da área afetada, evoluindo em profundidade e extensão, a evolução progressiva para desagregação superficial, o ruído que provoca, o desgaste de pneus e a beneficiação da capacidade drenante do pavimento devido ao aumento da macrotextura (Francisco, 2012).

### ▪ Pelada

A pelada corresponde ao desprendimento em forma de placa, da camada de desgaste, relativamente à camada inferior (EP, 2008). A Figura 2.20 ilustra este tipo de degradação.



Figura 2.20- Peladas (EP, 2008)

A deficiente ligação da camada de desgaste à camada subjacente, a espessura insuficiente da camada, a má qualidade dos materiais da camada de desgaste, os elevados esforços tangenciais e a evolução de outras degradações em particular do fendilhamento do tipo pele de crocodilo, são algumas das causas que podem originar a formação de peladas. Como consequência do

desenvolvimento refere-se o aumento da área afetada, a formação de ninhos na camada inferior, a possível infiltração de água nas camadas subjacentes e o desgaste de pneus (Freitas, 2012).

### ▪ Ninhos ou covas

Os ninhos ou covas são cavidades de forma arredondada localizadas na camada de desgaste, podendo progredir para as camadas inferiores, resultantes da evolução de outras degradações do pavimento (EP, 2008). A Figura 2.21 ilustra este tipo de degradação.



Figura 2.21 - Ninhos ou covas (EP, 2008; CEPISA, 2007; Pav14)

A evolução de outras degradações, em particular das desagregações superficiais, do fendilhamento, da pele de crocodilo e das peladas, a deficiente qualidade dos materiais da camada de desgaste, a expulsão de materiais estranhos na camada de desgaste (madeira, materiais argilosos, borracha, etc) e reparações mal efetuadas (más condições ou com materiais de má qualidade) são algumas das causas prováveis para a formação de ninhos. Como consequência do seu desenvolvimento refere-se o desgaste de pneus, o aumento da profundidade e da área afetada (Silva, 2012).

### ▪ Exsudação do betume

A exsudação é a subida à superfície do ligante betuminoso na camada de desgaste, em particular na zona de passagem dos rodados dos veículos, conferindo-lhe um aspeto negro e brilhante (EP, 2008). A Figura 2.22 ilustra este tipo de patologia.



Figura 2.22 - Exsudação do betume (EP, 2008)

Algumas causas prováveis para o aparecimento da exsudação do betume são o excesso de ligante betuminoso na camada de desgaste, a rega de colagem excessiva, a utilização de ligante betuminoso de reduzida viscosidade, aplicação de mistura betuminosa de reduzida estabilidade (agregados e dosagem em ligante inadequados), submetida a tráfego intenso e temperaturas elevadas e a evolução de outras degradações em particular as rodeiras e deformações localizadas. Como consequência do desenvolvimento desta degradação refere-se o aumento à

superfície da película de ligante betuminoso à superfície e o aumento da área afetada (Silva,2012).

### ▪ Subida de finos

A subida de finos é caracterizada pela existência de manchas de cor esbranquiçada devidas à presença de finos provenientes das camadas granulares e do solo de fundação, inicialmente junto de fendas da camada de desgaste, que evoluem para toda a superfície da camada, provenientes das camadas granulares e do solo de fundação (Silva, 2012). A Figura 2.23 ilustra este tipo de deformação.



Figura 2.23 - Subida de finos (EP, 2008)

A formação desta patologia deve-se à drenagem deficiente do pavimento, que promove a ascensão da água através do solo de fundação e das camadas granulares, e das camadas betuminosas fendilhadas, arrastando os finos para a superfície nas zonas de passagem dos rodados dos veículos, devido às forças de compressão exercidas no pavimento. A presença desta degradação diminui a capacidade de suporte das camadas granulares e de fundação (Silva, 2012).

### ▪ Desprendimento dos agregados

O desprendimento dos agregados corresponde à desagregação da camada de desgaste e traduz-se num desprendimento dos agregados grossos com perda de qualidade dos materiais que compõem a camada de desgaste (Freitas, 2012). A Figura 2.24 ilustra este tipo de degradação.

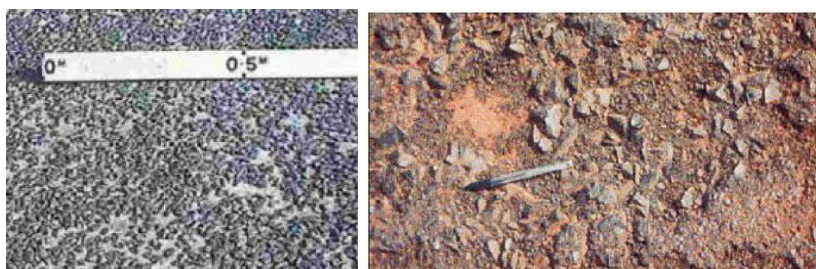


Figura 2.24 - Desprendimento dos agregados (CEPSA, 2007; Por14)

A falta de adesividade entre agregados e ligante, o envelhecimento do ligante, a deficiente dosagem de ligante, a falta de compactação da camada de desgaste e a precoce abertura ao tráfego, no caso de tratamentos superficiais, são causas prováveis para a formação desta patologia. Como consequência do seu desenvolvimento refere-se o aumento da área afetada e a evolução para uma variedade alargada de patologias (LNEC, 2005).



### ▪ Polimento dos agregados

O polimento dos agregados é o desgaste por abrasão, geralmente da fração grossa do agregado, conferindo à superfície do pavimento um aspeto polido e brilhante (EP, 2008). A Figura 2.25 ilustra este tipo de patologia.



Figura 2.25 - Polimento dos agregados (EP, 2008)

Algumas das causas que podem originar o polimento dos agregados são a deficiente qualidade dos materiais da camada de desgaste, em particular a fraca dureza dos agregados, o tráfego pesado intenso e um clima severo (temperaturas muito elevadas). Como consequência do desenvolvimento desta patologia refere-se a perda da microtextura superficial dos agregados e a consequente redução do coeficiente de atrito entre os pneus e o pavimento, a diminuição da resistência à derrapagem do pavimento (perda de aderência) e o aumento da área afetada (Maia, 2012).

## 2.5. Famílias de Patologias em Pavimentos de Blocos

### 2.5.1. Considerações Iniciais

As patologias em pavimentos de blocos surgem devido a diversos fatores, tais como a má escolha do tipo ou formato de blocos, a falta de capacidade de suporte da base e sub-base do pavimento devido à utilização de materiais inadequados, a espessura insuficiente das camadas subjacentes aos blocos, a má compactação das camadas do pavimento, a drenagem deficiente, entre outros.

Um pavimento de blocos bem executado exige poucas ações de conservação, devendo, no entanto, ser inspecionado com regularidade por forma a corrigir as patologias assim que estas surgem. Para determinar qual o tipo de ação de conservação mais eficaz, é necessário efetuar o levantamento visual das patologias.

Em Portugal não existe um catálogo de degradações para pavimentos de blocos. No entanto, atendendo a que é uma opção de pavimentação utilizada com frequência, apresenta-se neste título a classificação proposta no Manual de Patologias do *Interlocking Concrete Pavement Institute* – ICPI (ICPI, 2007). Este manual é para pavimentos de blocos prefabricados de betão. No entanto, como os pavimentos de blocos de outros tipos de materiais têm um comportamento semelhante, entende-se que a classificação das patologias que se apresenta poderá ser considerada adequada para estes pavimentos.

As patologias dos pavimentos de blocos podem ser agrupadas em duas famílias: deformações, e desprendimento e movimento de materiais.

### 2.5.2. Deformações

Nesta família de patologias consideram-se as rodeiras, as depressões, o empolamento, o escalonamento dos blocos e as reparações.

#### ▪ Rodeiras

As rodeiras são uma deformação permanente do perfil transversal e caracterizam-se pela existência de depressões na zona de passagem dos rodados dos veículos, causada pelo assentamento das camadas de base e sub-base do pavimento. Provocam irregularidade no pavimento e quando a depressão está cheia de água pode provocar hidroplanagem dos veículos (Hein et al, 2009).

O aparecimento deste tipo de patologia deve-se ao subdimensionamento e má compactação das camadas do pavimento de blocos. A canalização do movimento dos veículos, o aumento progressivo da profundidade das rodeiras, a perda de conforto e o desgaste dos veículos, são algumas consequências deste tipo de deformação (Ferreira, 2007). A Figura 2.26 ilustra rodeiras em pavimentos de blocos.



Figura 2.26 - Rodeiras em pavimentos de blocos (Joh14; Hein, et al., 2009)

#### ▪ Depressões

Esta patologia é caracterizada por uma área do pavimento sujeita a assentamento ou abatimento da camada de base ou sub-base, onde são visíveis diferenças de nível, ou seja, zonas mais baixas, à superfície. Esta patologia é comum em zonas com infraestruturas subterrâneas e ilustra-se na Figura 2.27 (Hein et al, 2009). As depressões podem surgir devido à má drenagem, fraca qualidade dos materiais, má execução do leito do pavimento, subdimensionamento do pavimento, ações de corte sob o pavimento, existência de peças com espessura variável, entre outros. O aumento progressivo da profundidade podendo conduzir à ruína do pavimento por falta de capacidade de suporte, o aumento da irregularidade longitudinal, a acumulação de água, a perda de conforto e o desgaste dos veículos, são algumas consequências deste tipo de deformação (Ferreira, 2007).



Figura 2.27 - Depressões em pavimentos de blocos (Forl4; ICPI & ARA, 2007)

### ▪ Escalonamento dos blocos

Esta patologia, designada em inglês por *faulting*, é caracterizada por áreas da superfície do pavimento com diferenças de nível, elevação ou rotação entre blocos adjacentes, e pode ocorrer devido ao assentamento da almofada de areia, má execução, “bombagem” ou subida dos finos através das juntas. Por norma esta patologia está associada a outras mais graves, tais como o assentamento, rodeiras, entre outros (Hein et al, 2009). A Figura 2.28 ilustra pavimentos de blocos com escalonamento ou formação de degraus.



Figura 2.28 – Escalonamento de blocos (Bah14; ICPI & ARA, 2007)

### ▪ Empolamento dos blocos

Esta patologia, designada por *heaves* em inglês, é caracterizada pela existência de áreas da superfície do pavimento mais elevadas, normalmente provocadas pelo ciclo de gelo-degelo da água existente nas camadas inferiores do pavimento. Pode também ocorrer devido à instabilidade das camadas inferiores e à existência de assentamentos e/ou rodeiras nas proximidades (Hein et al, 2009). O aumento progressivo da elevação, acumulação de água, a perda de conforto e o desgaste dos veículos, são algumas consequências deste tipo de deformação, ilustrada na Figura 2.29.

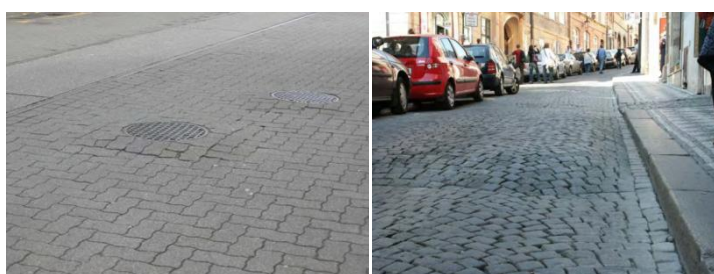


Figura 2.29 - Empolamento em pavimento de blocos (ICPI&ARA, 2007)

### ▪ Reparações

Caracteriza-se pela existência de zonas do pavimento reparadas com material diferente do existente, as quais podem degradar-se mais rapidamente que a restante área do pavimento. A qualidade da reparação pode comprometer a integridade da estrutura do pavimento e provocar irregularidade superficial. Assemelha-se às reparações nos pavimentos flexíveis, ilustrando-se na Figura 2.30 (Hein et al, 2009).



Figura 2.30- Reparações em pavimentos de blocos de betão (ICPI&ARA, 2007)

### 2.5.3. Desprendimento e Movimento de Materiais

Nesta família de patologias integra-se o dano nos blocos, a falta de blocos, a ausência de confinamento lateral, a largura excessiva das juntas, o arrastamento horizontal e a subida de finos.

#### ▪ Bloco danificado

Esta patologia descreve o estado de conservação dos blocos no que se refere ao fendilhamento, fratura, abrasão e desprendimento do material da superfície do bloco, que levam à consequente degradação das características superficiais. Esta patologia é indicativa do dano causado por cargas excessivas ou originado pela má execução do bloco, ilustrando-se na Figura 2.31 (Hein, et al., 2009; Ferreira, 2007).

O fendilhamento e fratura dos blocos podem surgir como consequência dos esforços originados pela dilatação impedida e compressão dos elementos. Isso pode acontecer devido à espessura demasiado fraca dos blocos para o tráfego que solicita o pavimento, ocorrendo também por causa da porosidade elevada dos blocos, formação de gelo e execução de juntas demasiado apertadas. O aumento progressivo da fenda, a redução da capacidade de suporte e a perda de impermeabilidade, são algumas consequências deste tipo de degradação nos blocos (Ferreira, 2007).

A abrasão e o desprendimento superficial do bloco surgem devido à agressividade do tráfego em conjugação com a presença de água, à fraca resistência do material do bloco ao desgaste, à má qualidade do material e, também, à porosidade elevada e presença de gelo. A perda das características superficiais (textura e aderência), a perda de impermeabilidade do pavimento, a progressão do dano e a evolução da fratura do bloco, são algumas consequências deste tipo de degradação (Ferreira, 2007).





Figura 2.31 – Pavimentos com blocos danificados (Inr14; ICPI&ARA, 2007)

### ▪ Falta de blocos

Esta patologia caracteriza-se pela perda de blocos no pavimento, como resultado da remoção ou degradação/desintegração do bloco. A falta de blocos pode comprometer a integridade da estrutura do pavimento. Esta acontece devido à má escolha do material, à má execução das juntas, mau confinamento lateral e subdimensionamento do pavimento. O aumento progressivo da patologia, a redução da capacidade de suporte, a perda de impermeabilidade, o desgaste dos veículos e a perda de conforto para o utilizador, são algumas das consequências desta patologia, ilustrada na Figura 2.32 (Hein, et al., 2009; Ferreira, 2007).



Figura 2.32 - Desprendimento de elementos (ICPI&ARA, 2007)

### ▪ Confinamento lateral

O confinamento de um pavimento de blocos é essencial para resistir ao movimento horizontal e de rotação dos blocos, e diminuir a perda de areia da almofada de areia e das juntas. A ausência de confinamento lateral e o tráfego provocam o alargamento das juntas, no bordo exterior do pavimento, ou na transição entre diferentes tipos de pavimento, podendo ocorrer a rotação vertical e horizontal dos blocos, ou o assentamento localizado do pavimento (Hein et al, 2009). A Figura 2.33 ilustra a ausência de confinamento lateral em pavimentos de blocos.



Figura 2.33 – Ausência de confinamento lateral (ICPI & ARA, 2007)



### ▪ Largura excessiva das juntas

Esta patologia é caracterizada pelo alargamento da dimensão das juntas, devido a inúmeros fatores, tais como má execução, a falta de areia de preenchimento nas juntas, o fraco confinamento lateral, o assentamento nas proximidades, entre outros. À medida que a junta alarga a camada de blocos perde rigidez e sujeita as camadas inferiores a esforços excessivos, o que pode provocar a ruína do pavimento. A espessura ótima das juntas situa-se entre 2 e 5 mm (Hein et al, 2009). A Figura 2.34 ilustra pavimentos de blocos com largura excessiva das juntas.



Figura 2.34 – Largura excessiva das juntas (ICPI&ARA, 2007)

### ▪ Arrastamento horizontal

O arrastamento horizontal (*shoving* em inglês) é um deslocamento dos blocos no plano do pavimento provocado pelas ações do tráfego, acelerações e travagens, pela inexistência de confinamento lateral ou pela largura excessiva das juntas (Figura 2.35). As consequências deste tipo de degradação são a perda de impermeabilidade e a consequente entrada de água nas camadas inferiores, provocando a redução da capacidade estrutural do pavimento (Hein, et al., 2009; Ferreira, 2007).



Figura 2.35 - Arrastamento horizontal em pavimentos de blocos de betão (ICPI&ARA, 2007)

### ▪ “Bombagem” ou subida de finos

Esta patologia caracteriza-se pela perda de areia nas juntas, que pode ocorrer devido à chuva intensa, ao ato de varrer e lavar o pavimento, à bombagem ou subida dos finos. Pode ocorrer devido à carga elevada do tráfego, ao uso de material inadequado, a juntas mal executas, entre outros. O material existente na junta é essencial para manter o travamento e a rigidez do pavimento de blocos. A inexistência deste diminui a capacidade estrutural do pavimento e permite a entrada de água para as camadas inferiores e o movimento dos blocos (Hein, et al., 2009; Ferreira, 2007). A Figura 2.36 ilustra o efeito da subida de finos em pavimentos de blocos.



Figura 2.36 - Subida de finos em pavimentos de blocos (ICPI&ARA, 2007)

## 2.6. Considerações Finais

Para o sucesso do dimensionamento e execução de um pavimento existem diversos fatores a ter em consideração, tais como a espessura da estrutura, os materiais constituintes, as propriedades e o comportamento dos materiais das camadas, o local de construção e as suas características climáticas, entre outros.

A evolução do estado do pavimento vai ditar se este foi bem ou mal dimensionado, bem ou mal executado, embora ao final de algum tempo em serviço seja habitual o início do desenvolvimento de patologias.

É necessário manter uma monitorização adequada dos pavimentos da rede, de modo a identificar as patologias num estágio inicial de desenvolvimento, de modo a ser possível efetuar intervenções de conservação no tempo certo, para evitar o agravamento das condições dos pavimentos.

### 3. AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

#### 3.1. Considerações Iniciais

Cada vez mais, a principal preocupação das entidades gestoras da rede rodoviária é a conservação das vias existentes, em detrimento da construção de novas vias. Isto acontece por razões de racionalidade orçamental, por um lado, e porque as redes estão praticamente construídas, por outro.

Contudo, no domínio municipal em Portugal a manutenção/conservação ainda é uma atividade pouco valorizada pela gestão porque tem pouco impacto na opinião pública e, por isso, não enaltece o poder político e os seus agentes, sendo adotada com reservas nas decisões técnico-políticas.

Contudo, é essencial estabelecer um programa de acompanhamento da evolução dos pavimentos devido aos custos inerentes às operações de conservação de pavimentos, aos custos incorridos pelos utentes pela degradação progressiva da infraestrutura e à necessidade de preservar o património rodoviário construído. O objetivo é o de apoiar a decisão de intervir no tempo certo, de modo a restituir a qualidade aos pavimentos, prolongando o seu período de vida, ao mesmo tempo que se reduzem os custos dos utentes que podem atingir valores muito significativos.

A importância da consideração dos custos e benefícios relacionados com os utentes é largamente reconhecida, já que são estes os que sentem direta ou indiretamente a influência do estado de conservação da infraestrutura, nomeadamente a dos seus pavimentos, estruturas (obras de arte) e, ainda, da sinalização e equipamento de segurança (Santos B., 2007).

A título demonstrativo, apresenta-se na Tabela 3.1 um quadro com a estimativa do custo, para o utente da estrada (CUE), englobando o custo de operação dos veículos (COV) e o custo do tempo de percurso (CTP), estimando-se um aumento no consumo de combustível (cc) de 20% e uma redução da velocidade em 15 km/h, resultado da modelação dos custos para os utentes na gestão viária, em particular no planeamento das ações de conservação e reabilitação dos pavimentos no âmbito de um doutoramento (Santos B., 2007).

Tabela 3.2 - Variação do custo para o utente da estrada, valores de 2007 (Santos B., 2007)

Variação dos CUE para um itinerário principal:

$CUE = COV + CTP$

+20% cc

-15km/h

| Classe de veículo | COV (€/km) | Combustível | CTP (€/km/veículo) | Velocidade |
|-------------------|------------|-------------|--------------------|------------|
|                   |            | +20% cc     |                    | -15km/h    |
| VLP               | 0,1623     | 8,0346      | 0,0833             | 20,0000    |
| VCL               | 0,1074     | 8,8734      | 0,0667             | 20,0000    |
| VPM               | 0,5993     | 15,551      | 0,1133             | 23,0769    |
| VPP               | 0,6733     | 11,325      | 0,5125             | 21,4286    |

| CUE (€/km) | CUE (Δ) (€/km) | Δ%      |
|------------|----------------|---------|
| 0,2457     | 0,2754         | 12,0934 |
| 0,1741     | 0,1969         | 13,1345 |
| 0,7125     | 0,8318         | 16,7472 |
| 1,1857     | 1,3718         | 15,6917 |

Para evitar intervenções desnecessárias, por um lado, e para que os danos se tornem irreparáveis e economicamente insustentáveis, por outro, afetando a segurança e os custos dos utilizadores, as decisões de conservação devem apoiar-se em informação relativa ao estado de degradação, cadastro e previsão de evolução desse estado ao longo do tempo, exigindo o diagnóstico do estado de conservação e o planeamento das intervenções.

A avaliação da qualidade é muito importante na gestão dos pavimentos porque permite perceber se os objetivos do planeamento, do projeto e da construção foram satisfeitos, para além de permitir determinar a evolução do estado dos pavimentos. Esta usualmente consiste em determinar os parâmetros seguintes (Branco et al, 2011):

- Capacidade estrutural (deflexão ou assentamentos) – permite estimar a evolução da qualidade estrutural do pavimento;
- Estado superficial (degradações superficiais) – permite estimar o estado de degradação da superfície do pavimento;
- Irregularidade da superfície e textura superficial (microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade) – permitem estimar a qualidade funcional, nomeadamente o atrito no contacto pneu-pavimento, a resistência ao movimento, o desgaste de pneus, o ruído e vibrações, os parâmetros que interferem na segurança e conforto do utilizador, e custos associados;
- Regularidade longitudinal (desnível entre o perfil existente e o perfil de projeto) - permite estimar a qualidade funcional, afetando essencialmente o conforto e segurança do utilizador, e a evolução da qualidade estrutural, devido a assentamentos irreversíveis e diferenciais;
- Regularidade transversal (rodeiras e assentamentos) – permite estimar a qualidade funcional, afetando essencialmente o conforto e segurança do utilizador, e a evolução da qualidade estrutural, através da profundidade das rodeiras;
- Atrito (coeficiente de atrito longitudinal (CAL) e coeficiente de atrito transversal (CAT)) – permite estimar a qualidade funcional, interfere essencialmente na segurança do utilizador e respetivos custos associados.

A avaliação da capacidade estrutural dos pavimentos está um pouco fora do âmbito deste trabalho, pois, em geral, os Municípios não necessitam de uma avaliação mecânica dos pavimentos das suas redes, porquanto uma grande parcela da sua extensão é solicitada por um número de veículos pesado relativamente reduzido. Por essa razão, a avaliação estrutural no âmbito da gestão da rede, acaba por ser efetuada de modo qualitativo, com base nas patologias observáveis à superfície, as quais podem dar boas indicações sobre a evolução do estado estrutural dos pavimentos da rede.

### **3.2. Inventário da Rede Rodoviária Municipal**

Os dados relativos à história dos pavimentos existentes nem sempre são possíveis de obter. Pode não haver registo da data de construção inicial, por exemplo, ou de ações de conservação que tenham ocorrido ao longo dos anos de serviço. Apenas para as vias cuja construção foi alvo de concurso público é mais simples obter alguma informação, embora habitualmente a mesma

não esteja organizada. Geralmente não existe registo das intervenções realizadas porque, em muitos casos, os serviços municipais não estão consciencializados para efetuar e manter registos atualizados das obras rodoviárias. Para isso seria necessário criar e manter sistemas de informação que permitam recolher, organizar e pesquisar informação quando necessário.

O detalhe e quantidade de informação recolhida num inventário devem ser estabelecidos por cada administração rodoviária. A caracterização do pavimento deve ser acompanhada de informação complementar, tal como a identificação das vias incluindo a sua classificação hierárquica, localização (georreferenciação), extensão, largura, número de vias em cada sentido, o volume diário de tráfego, caracterização da área envolvente, entre outros.

A caracterização do pavimento diz respeito não só ao levantamento do seu estado atual, mas também à recolha de dados sobre a constituição e espessura das camadas do pavimento, e da sua fundação, e acerca da data de construção inicial e do histórico de intervenções.

A recolha de informação pretende servir de apoio à decisão futura de intervenção na rede. Embora, nos municípios essa decisão seja marcadamente de natureza política, os serviços técnicos devem dispor de ferramentas que permitam assessorar este tipo de decisões.

Nos municípios de pequena dimensão, os mais numerosos em Portugal, os serviços técnicos não dispõem geralmente de recursos humanos em quantidade e suficientemente especializados nas diferentes áreas em que têm de intervir. Assim, é necessário simplificar os procedimentos associados às ações de conservação, como é o caso do inventário da rede. Um inventário, quando possível, deve conter a informação constante na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Informação de inventário (adaptado de Ferreira, 2006)

|  |   |
|--|---|
| <b>Identificação e georreferenciação</b> | Localização da via                                  |
|  | Localização dos pontos de referência                |
|  | Localização de trechos da rede                      |
|  | Designação da via                                   |
| <b>Classificação da via</b>              | Via coletora ou arterial                            |
|  | Via distribuidora principal                         |
|  | Via de acesso local                                 |
| <b>Caracterização do tráfego</b>         | Tráfego médio diário anual                          |
|  | Tráfego médio diário anual de pesados               |
|  | Classe de tráfego                                   |
| <b>Caracterização das degradações</b>    | Patologias existentes                               |
|  | Gravidade das patologias                            |
|  | Índice de qualidade do pavimento                    |
| <b>Histórico do pavimento</b>            | Caracterização da estrutura do pavimento e fundação |
|  | Geometria do perfil transversal                     |
|  | Caracterização do sistema de drenagem               |
|  | Ano de construção                                   |
|  | Tipo de intervenções realizadas                     |
|  | Descrição de ações de conservação realizadas        |
|  | Data da ação de conservação                         |

### 3.3. Levantamento Visual das Degradações Superficiais

O levantamento das condições da rede corresponde à observação dos pavimentos. Para definir as estratégias futuras de conservação, deve ser feito o diagnóstico do estado do pavimento existente, a partir do qual será feita a análise das intervenções a realizar, através da recolha de dados, com recurso a observação visual e caracterização da situação existente, a qual pode incluir, quando considerado necessário, medição de alguns parâmetros diretamente com equipamentos.

#### 3.3.1. Catálogo de Degradações

A aquisição de dados baseados em sistemas automáticos tem elevado rendimento, quando comparado com os métodos manuais. Nos municípios mais pequenos, por várias razões, tais como a reduzida capacidade financeira, a pouca disponibilidade ou a inexistência de equipamentos de medida, ou a falta de técnicos suficientemente especializados, pode recorrer-se à metodologia de observação visual, sem recurso a equipamentos, a qual, utilizada com bom senso, pode constituir uma ferramenta muito útil para a avaliação do estado de conservação do pavimento.

Os catálogos de degradações são documentos de referência para obter maior fiabilidade e homogeneidade na observação visual efetuada por quem faz o levantamento, quer em trabalho de campo, quer em gabinete, quando se analisam os vídeos ou fotografias obtidas, permitindo assim uma classificação mais objetiva de cada patologia. Um catálogo de degradações deve conter, para cada tipo de degradação e por tipo de pavimento, a seguinte informação (Branco et al, 2011):

- Definição ou descrição sumária do tipo de degradação;
- Níveis ou classes de gravidade;
- Indicação do modo de medição ou avaliação;
- Identificação das causas possíveis e evoluções prováveis.

A Estradas de Portugal, S. A. (EP) utiliza o Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários que desenvolveu (EP, 2008). Este catálogo organiza os diferentes tipos de degradação que habitualmente se desenvolvem nos pavimentos, flexíveis e rígidos, da rede rodoviária portuguesa. O catálogo é ilustrado com fotos que representam os tipos e o nível de degradações, incluindo a descrição sucinta de cada uma, relatando ainda as causas possíveis, assim como a provável evolução, conforme se ilustra na Figura 3.1.

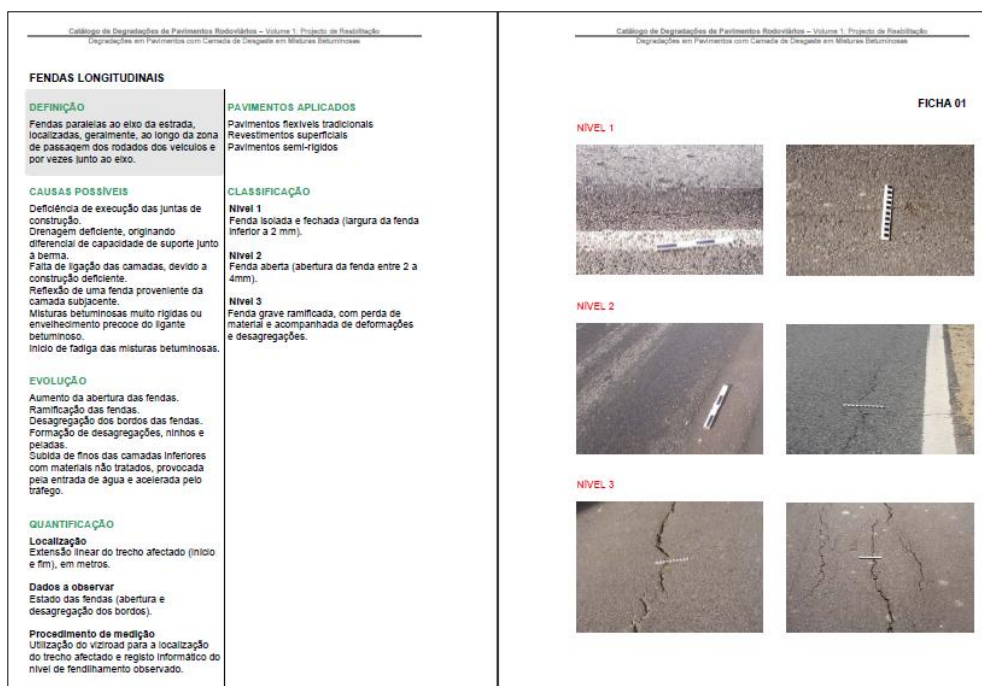


Figura 3.1 - Extrato do catálogo de degradações da EP (EP, 2008)

Em Portugal ainda não existe um catálogo de degradações para pavimentos de blocos. No entanto, o *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI) lançou em 2008 um manual de avaliação do estado de conservação de pavimentos de blocos de betão que pode ser utilizado como um catálogo de degradações, pois também é ilustrado com fotografias que representam os tipos (já descritos no título 2.5), e estabelece um nível de gravidade de degradações existentes nesses pavimentos, conforme se ilustra na Figura 3.2. As patologias descritas no manual referido são comuns aos pavimentos de blocos de pedra natural.

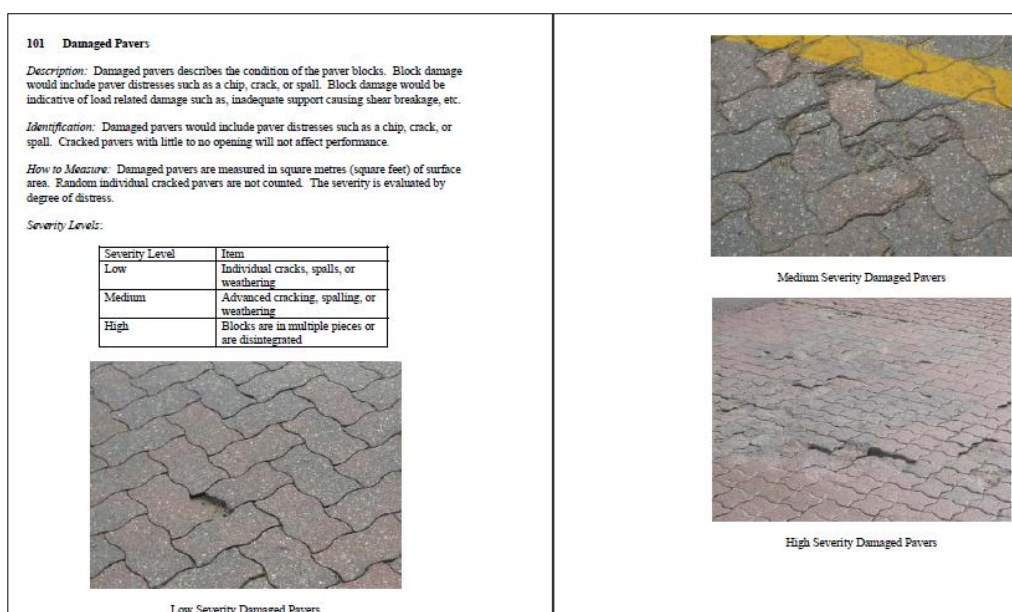


Figura 3.2 - Extrato do manual do ICPI (ICPI &amp; ARA, 2007)



### 3.3.2. Observação Visual das Degradações

A observação visual é a técnica de observação do estado superficial que exige menos meios. No entanto, e uma vez que é realizada por um ou mais técnicos, está sujeita a alguma subjetividade. Para que as degradações sejam avaliadas de diferentes modos, até pelo mesmo técnico, é indispensável a utilização de um catálogo de degradações que permita maior rendimento e menor subjetividade.

As degradações superficiais registadas traduzem aspetos relacionados com as características funcionais das vias, por exemplo a desagregação superficial e a exsudação, e com as características estruturais, tais como as deformações permanentes e o fendilhamento.

O técnico percorre as vias, a pé ou numa viatura, recolhendo visualmente os dados sujeitos à perceção individual deste, registando os diferentes tipos de degradação, a sua gravidade e extensão, traduzida na em comprimento ou área afetada pelas degradações, numa ficha específica, em papel ou suporte informático. Estes parâmetros vão permitir avaliar a qualidade do pavimento e identificar os trechos onde será necessário intervir a curto prazo.

As degradações passíveis de serem observadas visualmente podem ter origem no funcionamento inadequado dos órgãos de drenagem, ou nas condições das bermas e taludes, tais como as raízes de árvores, o aparecimento de águas subterrâneas, a infraescavação provocada pela falta de valeta revestida, a cedência das bermas, entre outras (Tavares, 2013).

Na observação visual a pé, o técnico deve fazer-se acompanhar de um odómetro (para medir a distância percorrida), fita métrica, fichas de levantamento, máquina fotográfica, GPS (se disponível) e um catálogo de degradações. Para além destes equipamentos, o técnico deve envergar equipamento de proteção individual (colete refletor e calçado confortável) e a via deve ter sinalização temporária, por forma a alertar os condutores para a realização das observações, garantindo desta forma a segurança dos técnicos e dos utentes. Nas vias com maior tráfego, a complementar a sinalização temporária, a inspeção deverá ser apoiada por uma viatura, com rotativos luminosos a sinalizar a marcha dos técnicos (Tavares, 2013).

As fichas de levantamento das patologias de pavimentos flexíveis ou de blocos devem conter informação acerca da via em análise, a data, o tipo e gravidade das patologias, entre outros. Estas fichas podem ser utilizadas ou preenchidas, em formato papel ou formato digital (através de um tablet ou smartphone).

Na Figura 3.3 apresentam-se exemplos de fichas de levantamento das degradações em pavimentos de blocos prefabricados de betão e flexíveis, para preenchimento manual.



| FICHA DE LEVANTAMENTO DE DEGRADAÇÕES<br>PAVIMENTOS FLEXÍVEIS   |               |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|--|---------------|---|---|--------------------|---|----|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-------|-------|--------|---------------|---------------|---------------|
| VIA:   |               | TIPO:   |   | FOLHA:             |   | de |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| SECÇÃO:  |               | SENTIDO:  |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| INÍCIO (m):  |               | X:  |   | DATA:              |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| FIM (m):   |               | Y:  |   | LARGURA MÉDIA (m): |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| PATOLOGIAS   | SI            |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | G             | Designação: FT-fendas transversais   FL-fendas longitudinais   P-peladas   DS-desagregações superficiais   E-Estufação do betão   PA-polimento dos agregados   DL-deformações localizadas |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Rodagem (R)  | 1             | C   | C | C                  | C | C  | C | C | C | C | C | C |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 2             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 3             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Fendilhamento (C)  | 1             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 2             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 3             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Degradações Superficiais (S)   | 1             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 2             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 3             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Covas ou Ninhos (N)  | 1             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 2             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 3             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Reparações (P)   | 1             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 2             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | 3             |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| ESBOÇO:  |               |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| COMENTÁRIOS:   |               |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <b>TECNICO:</b> </div> <div> <table border="1"> <tr> <td>Esq</td> <td>Dir</td> </tr> <tr> <td>Berma</td> <td>Pista</td> </tr> <tr> <td>Valete</td> <td>Passo de roda</td> </tr> <tr> <td>Passo de roda</td> <td>Passo de roda</td> </tr> </table> </div> </div> |               |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   | Esq | Dir | Berma | Pista | Valete | Passo de roda | Passo de roda | Passo de roda |
| Esq  | Dir           |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Berma  | Pista         |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Valete   | Passo de roda |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Passo de roda  | Passo de roda |   |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |

| FICHA DE LEVANTAMENTO DE DEGRADAÇÕES<br>PAVIMENTOS DE BLOCOS   |               |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|--|---------------|----------|---|--------------------|---|----|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-------|-------|--------|---------------|---------------|---------------|
| VIA:   |               | TIPO:    |   | FOLHA:             |   | de |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| SECÇÃO:  |               | SENTIDO: |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| INÍCIO (m):  |               | X:       |   | DATA:              |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| FIM (m):   |               | Y:       |   | LARGURA MÉDIA (m): |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| PATOLOGIAS   | SI            |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | G             | C        | L | C                  | L | C  | L | C | L | C | L | C |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Bloco danificado   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Depressões   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Confinamento lateral   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Largura excessiva da junta   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Escalonamento dos blocos   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Empolamento dos blocos   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Arrastamento horizontal dos blocos   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| "Bordagem" ou saída dos fins   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Falta de blocos  | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Reparações   | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Rodagem  | L             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
|  | M             |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| ESBOÇO:  |               |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| COMENTÁRIOS:   |               |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <b>TECNICO:</b> </div> <div> <table border="1"> <tr> <td>Esq</td> <td>Dir</td> </tr> <tr> <td>Berma</td> <td>Pista</td> </tr> <tr> <td>Valete</td> <td>Passo de roda</td> </tr> <tr> <td>Passo de roda</td> <td>Passo de roda</td> </tr> </table> </div> </div> |               |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   | Esq | Dir | Berma | Pista | Valete | Passo de roda | Passo de roda | Passo de roda |
| Esq  | Dir           |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Berma  | Pista         |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Valete   | Passo de roda |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |
| Passo de roda  | Passo de roda |          |   |                    |   |    |   |   |   |   |   |   |     |     |       |       |        |               |               |               |

Figura 3.3 - Fichas de levantamento de pavimentos flexíveis e de blocos

A observação visual das degradações assistida por computador pode ser efetuada, por exemplo, através do **VIZIROAD**, utilizado pela EP, que é um sistema informático de aquisição de dados, dispondo de uma interface informática constituída por dois teclados complementares, onde cada tecla, através de configuração informática específica, pode ser associada a um determinado tipo e gravidade de degradação (Branco et al, 2011). A observação efetuada pelo operador consiste em indicar o tipo de patologia, nível de gravidade e a sua extensão, introduzida através de dois teclados que são manipulados por dois membros, um por teclado, previamente calibrados para as necessidades de levantamento, podendo ainda registar eventuais considerações que considere necessárias. As distâncias são obtidas através do transdutor de deslocamento instalado no veículo e lidas pelo software, que para além do reconhecimento das introduções efetuadas, automáticas ou através dos teclados, também trata a informação para utilização numa base de dados rodoviária (Pereira et al, 2006). Este equipamento é instalado num veículo ligeiro, conforme ilustrado Figura 3.4 e possui ainda um GPS, camara de vídeo e um perfilómetro.



Figura 3.4 - Equipamento VIZIROAD da EP (Horta et al, 2013)

Os principais dados do estado superficial considerados na base de dados e identificados nos teclados do VIZIROAD são o fendilhamento, as peladas, as desagregações superficiais, a exsudação do betume, o polimento dos agregados, os assentamentos localizados, as covas ou ninhos, as reparações e as rodeiras (Luz, 2011).

### 3.4. Levantamento das Características Superficiais

O desempenho funcional ou superficial dos pavimentos está relacionado com fatores de segurança, conforto e economia, afetando especialmente o utente. A característica mais importante do ponto de vista de segurança de circulação é sem dúvida a resistência à derrapagem.

As irregularidades do pavimento afetam sobretudo a comodidade dos utentes (Pinto, 2003). A influência das características superficiais apresenta-se na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Influência das características superficiais (adaptado de Azevedo, 2010)

|                             | Segurança | Conforto | Ambiente | Economia | Influência    |  |
|-----------------------------|-----------|----------|----------|----------|---------------|--|
| Aderência                   |           |          |          |          | Importante    |  |
| Irregularidade longitudinal |           |          |          |          | Significativa |  |
| Irregularidade transversal  |           |          |          |          | Moderada      |  |
| Ruído                       |           |          |          |          | Fraca         |  |
| Visibilidade                |           |          |          |          | Nula          |  |

A aderência da camada superficial dum pavimento rodoviário corresponde à sua capacidade para mobilizar o atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento. Aquela característica do pavimento assume maior importância em situações de travagem, aceleração e circulação em curva (Enge14).

Pretende-se neste subcapítulo descrever sumariamente os métodos e os equipamentos utilizados no levantamento das características superficiais dos pavimentos, em Portugal.

#### 3.4.1. Profundidade da textura superficial

A textura desempenha um papel fundamental na qualidade funcional de um pavimento, designadamente, na resistência à derrapagem, no desgaste dos pneus, no ruído e vibrações transmitidas ao interior dos veículos, tratando-se de um parâmetro que influencia diretamente a segurança, o custo de operação dos veículos, o conforto e o ambiente. Na Figura 3.5 ilustram-se os diferentes domínios da textura superficial em pavimentos, em função do seu comprimento de onda (Sardão, et al., 2013; Menezes, 2008).

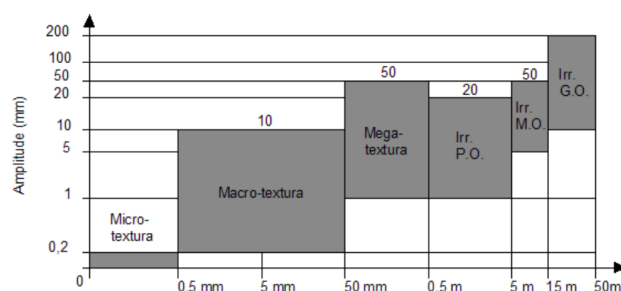


Figura 3.5 - Diferentes domínios da textura superficial (Menezes, 2008)

A microtextura, isto é, a aspereza superficial das partículas de agregado visíveis à superfície, contribui para a interpenetração das superfícies em contacto (pneu / pavimento), mobilizando a principal componente da aderência (atrito por adesão) para velocidades de circulação médias e baixas. Rochas pouco resistentes ao polimento, como são geralmente os calcários que abundam na região centro litoral, conduzem a camadas de desgaste com fraca microtextura. As deficientes condições de atrito podem explicar alguns dos acidentes graves que ocorrem em meio urbano. No domínio do comprimento de onda a microtextura situa-se entre  $1\ \mu\text{m}$  e  $0,5\text{mm}$ , com uma amplitude entre  $1\ \mu\text{m}$  e  $0,2\ \text{mm}$ , podendo ser avaliada indiretamente através da medição do coeficiente de atrito (Engel; Menezes, 2008).

A macrotextura pode descrever-se como a saliência média dos agregados rochosos relativamente à superfície geral do pavimento. Corresponde ao domínio de comprimento de onda compreendido entre  $0,5\ \text{mm}$  e  $50\ \text{mm}$ , com uma amplitude vertical compreendida entre  $0,1\ \text{mm}$  e  $20\ \text{mm}$ , que resulta das partículas maiores do agregado na mistura. Em conjunto com a geometria do rasto do pneu, a macrotextura do pavimento facilita o escoamento da água quando chove. Este efeito reduz a espessura da lâmina líquida sob o pneu e reduz o risco de hidroplanagem. Quanto mais elevada for a velocidade de circulação, maior é o risco de perda de aderência, o CAL pode reduzir mais de 60% quando a velocidade passa de 40 para 120 km/h, por exemplo (Engel; Menezes, 2008).

A megatextura da camada de desgaste de um pavimento corresponde ao domínio de comprimento de onda compreendido entre  $50\ \text{mm}$  e  $500\ \text{mm}$ , com uma amplitude vertical compreendida entre  $0,1\ \text{mm}$  e  $50\ \text{mm}$ . Esta característica, que geralmente não é avaliada, relaciona-se com os comprimentos de onda da mesma ordem de grandeza dos que intervêm no contacto pneu-pavimento. Em geral, a megatextura é o resultado das deformações e degradações com comprimento reduzido à superfície da camada de desgaste (ninhos, deformações localizadas). Não é uma característica intrínseca da superfície de uma camada de desgaste, mas sim o resultado de uma evolução anormal (Menezes, 2008).

O **Ensaio da Mancha de Areia** avalia a macrotextura do pavimento, caracteriza a sua superfície quanto à sua capacidade de drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento, e quantifica a profundidade média da textura à superfície do pavimento (Falcão et al, 2005). Na Figura 3.6 ilustra-se o equipamento utilizado e o modo de realização do ensaio.

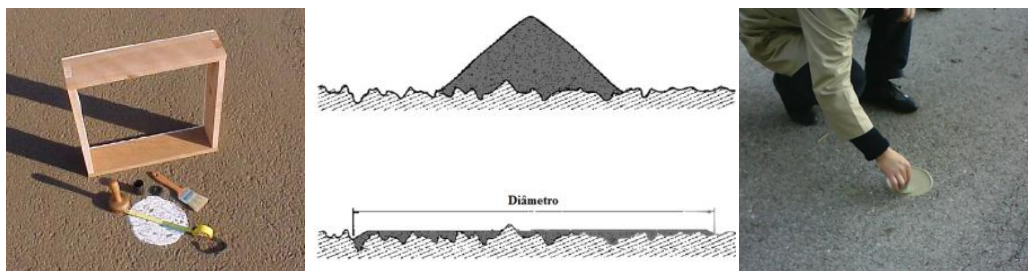


Figura 3.6 – Material e modo de espalhamento da areia ou esferas (Specht, et al., 2007; Aus14)

Este ensaio, regulado pela norma NP EN 13036-1 (IPQ, 2011), consiste no espalhamento sobre a superfície do pavimento de  $25\text{cm}^3$  de areia ou esferas de vidro e determinação da profundidade média da textura (MTD) das depressões da superfície da camada de desgaste do pavimento, uma vez conhecida a área da superfície de espalhamento da areia (Branco et al, 2011). Na Tabela 3.5 apresentam-se os valores mínimos para a profundidade média de textura.

Tabela 3.5 – Valores mínimos de MTD em pavimentos flexíveis (EP, 2009)

| Tipo de mistura betuminosa        | MTD (mm)  |
|-----------------------------------|-----------|
| Betão betuminoso                  | MTD > 0,6 |
| Betão betuminoso drenante         | MTD > 1,2 |
| Microbetão rugoso                 | MTD > 1,0 |
| Argamassa betuminosa              | MTD > 0,4 |
| Mistura betuminosa de alto módulo | MTD > 0,4 |

### 3.4.2. Atrito

O atrito é uma propriedade física da superfície do pavimento, é medido em piso molhado, porque quase todas as camadas de desgaste disponíveis no mercado apresentam bons níveis de resistência à derrapagem em piso seco. Quando o pavimento está molhado, a água atua como lubrificante entre o pneu e a superfície do pavimento (Menezes, 2008).

O atrito de um pavimento pode ser avaliado através da medição do CAL (influencia a distância de paragem) e do CAT (influencia avalia a segurança de circulação em curva). Ambos os parâmetros têm importância para a segurança da circulação, mas é o segundo, o atrito transversal, que mais influencia a velocidade de circulação e consequentemente os acidentes (Menezes, 2008). O coeficiente de atrito de um pavimento é mais elevado no inverno que no verão, devido à variação das características da superfície do pavimento, ao desempenho dos pneus e às condições climáticas (Branco et al, 2011).

A medição do atrito proporcionado pela superfície de uma camada de desgaste pode realizar-se, em geral, segundo três métodos: medição pontual do atrito pneu-pavimento através ensaio do pêndulo britânico; medição do atrito longitudinal em contínuo (com pneu parcialmente bloqueado), através do equipamento Grip Tester; medição do atrito transversal em contínuo (com o pneu livre) através do equipamento SCRIM (Branco et al, 2011).

O **Ensaio do Pêndulo Britânico** é um ensaio destinado a medir as características de aderência e a microtextura da superfície de um pavimento e é regulado pela norma EN 13036-4 (CEN, 2003). É efetuado com um pêndulo constituído por um braço de rotação articulado numa

coluna vertical fixa na base horizontal, com o deslizador na extremidade livre que funciona como simulador da superfície de um pneu, ilustrado na Figura 3.7. O ensaio consiste em deixar tombar o braço do pêndulo, a partir da sua posição horizontal, e registar o valor da escala correspondente à sua altura máxima depois de ter rodado em torno do eixo horizontal de apoio e ter atuado sobre a superfície do pavimento (Branco et al, 2011).

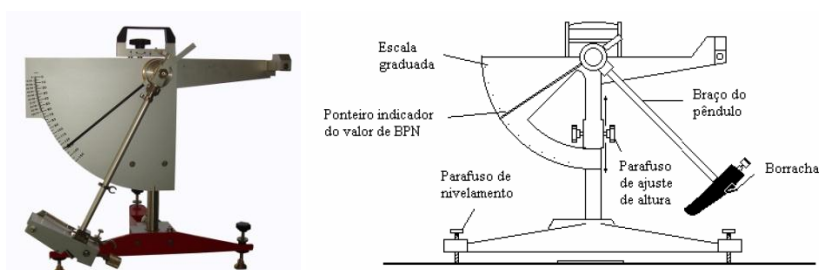


Figura 3.7 - Equipamento Pêndulo Britânico (Tec14; Alves, 2007)

Os valores medidos denominam-se por PTV (Pendulum Test Value) e representam indiretamente o atrito que se obteria entre o pneu e o pavimento. Quanto maior for o valor de PTV, maior será a resistência oferecida pela superfície do pavimento à passagem da borracha do pêndulo, já que maior será a energia perdida pelo pêndulo (Alves, 2007). Os valores mínimos de PTV devem situar-se entre 45 para estradas em geral e 65 para zonas particulares (rotundas, aproximação a semáforos, zonas inclinadas) (Branco et al, 2011).

O atrito entre a borracha do pêndulo e a superfície do pavimento provoca a perda de energia do pêndulo, a qual será proporcional às características de rugosidade dessa superfície, procurando quantificar o desempenho de um veículo a travar sobre uma superfície de pavimento molhado, à velocidade de 50 km/h (Branco et al, 2011).

O **Grip Tester** é um equipamento constituído por um atrelado de três rodas, em que a roda de teste (central) tem uma textura macia ou lisa e as outras duas têm textura rugosa, sensor de proximidade, unidade de processamento de sinais, bomba e reservatório de água (com caudalímetro para regular volume de água em função da velocidade) e computador de registo de dados. O equipamento permite a medição do coeficiente de atrito, através da medição das forças horizontal e vertical que são exercidas no pneu normalizado, montado numa roda parcialmente bloqueada (14,5%), quando o equipamento se desloca sobre o pavimento em condições normalizadas, com uma velocidade de operação entre 5 km/h (se for feito manualmente) até 130 km/h. A película da água colocada na zona de circulação da roda de ensaio pode variar entre 0,25 a 0,5mm, devendo ter uma entre 5 e 25°C (Barros, 2008; Alves, 2007). O ensaio com este equipamento, ilustrado na Figura 3.8, está normalizado na BS 7941-2000 (BS,2000).





Figura 3.8- Equipamento Grip-tester (FIND,2014)

O CAL é registado pelo valor médio por troços de 10 m, ao longo de toda a extensão ensaiada. O ensaio tem de ser realizado com o tempo seco para que a altura da película de água possa ser controlada. Como o ensaio é realizado com o piso molhado com uma película de água de 0,25 a 0,50 mm, é necessário dispor de um reservatório de água e de uma bomba automática com um caudalímetro que regule o volume de água em função da velocidade de circulação. Embora o ensaio seja realizado à velocidade de 50 km/h, existem sempre algumas variações de velocidade, nomeadamente nas estradas em serviço. Por essa razão é necessário garantir que o volume de água seja ajustado à necessidade de se manter a película constante. O equipamento está ligado a um computador que regista a velocidade do ensaio e faz o tratamento dos resultados de forma a apresentar os valores médios de 10 em 10 metros, e regista as distâncias medidas através de um odómetro (Barros, 2004).

A partir das medições efetuadas, o coeficiente de atrito é automaticamente calculado e transmitido para o computador de recolha de dados, em que o Grip Number (GN) é um valor correspondente à média de um determinado número de leituras do atrito instantâneo num dado comprimento de ensaio (coeficiente de atrito médio). O sistema informático permite ainda a introdução de observações por parte do operador (Alves, 2007).

O equipamento **SCRIM**, cuja utilização é regulada pela norma BS 7941-1:2006 (BS, 2006), permite a medição contínua do CAT que é a razão entre a força horizontal,  $T$ , perpendicular ao plano de rotação da roda de medida e a ação vertical,  $R$ , normal ao pavimento, que a massa suspensa exerce sobre a roda com o valor de 200 kg, ou seja,  $CAT = T/R$ . O equipamento é constituído por um camião com tanque de água, pneu de ensaio liso normalizado, carga de 200 kgf, ilustrado na Figura 3.9. A roda de ensaio move-se verticalmente e é independente dos movimentos do veículo, está num plano de rotação que forma um ângulo  $\theta = 20^\circ$  com a direção do movimento, surgindo, assim, na área de contacto entre o pneu e pavimento, uma força de atrito normal ao plano de rotação da roda. Os dados são obtidos em tempo real e registados em suporte magnético (Alves, 2007).

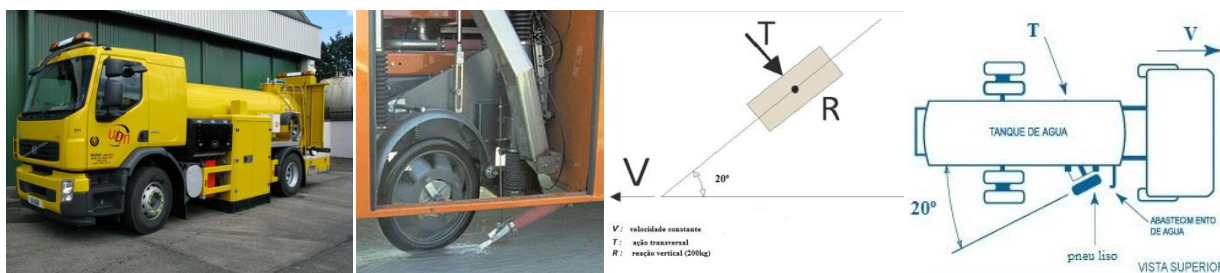


Figura 3.9- Equipamento e esquemas do funcionamento do SCRIM (Gin14; Wdm14; Eur14)

### 3.4.3. Irregularidade Longitudinal e Transversal

A regularidade superficial é uma propriedade funcional com principal incidência na comodidade de circulação, mas que também influencia a segurança do utilizador, o desgaste dos pneus e o consumo de combustível. A irregularidade é descrita como o desvio do perfil da superfície em relação a uma superfície de referência. As irregularidades superficiais devem-se às diferenças verticais que existem entre a superfície teórica do pavimento (definida em projeto) e a sua superfície real e surgem, geralmente, devido à falta de capacidade de suporte da camada de fundação, à má colocação e compactação dos materiais em obra e à ação do tráfego (Pinto, 2003).

A irregularidade longitudinal influencia a resposta do pavimento uma vez que excita as cargas aplicadas pelos veículos no pavimento, provocando perfis de carga superiores ao perfil estático (Almeida et al, 2013). O levantamento desta característica é efetuado ao longo da via, uma vez que no mesmo trecho de pavimento podem ser encontrados diferentes irregularidades e a quantificação desta é realizada através da determinação do índice IRI (*International Roughness Index*).

A irregularidade transversal é evidenciada nos pavimentos através da formação de rodeiras, cujos efeitos negativos já foram descritos no capítulo anterior.

Para a medição da irregularidade longitudinal ou transversal pode usar-se uma **Régua de Medição de 3 metros**, a qual é utilizada manualmente, portanto a muito baixa velocidade (Pinto, 2003). No levantamento de degradações, particularmente na medição das deformações permanentes, ou das irregularidades dos pavimentos, este método de ensaio pode ser facilmente utilizado.

Este ensaio normalizado pela BS EN 13036-7 (BS, 2003), consiste na colocação da régua de 3 m na posição pretendida, colocando-se perpendicularmente a régua de 30 cm, ajustando-se na vertical de forma a que fique com uma das extremidades em contacto com a superfície do pavimento. A leitura é efetuada medindo a distância entre a régua de 3 m e a superfície de medição, utilizando para o efeito a graduação da régua de 30 cm. Este ensaio é utilizado para medições pontuais, tanto longitudinais como transversais, ou em qualquer outra direção (Alves, 2007). Na Figura 3.10 ilustram-se exemplares da régua vertical e horizontal.



Figura 3.10 - Régua horizontal e vertical (Con14; Col14)

O **Perfilómetro Laser** é um equipamento de medição dos desvios altimétricos da superfície do pavimento em relação a um perfil ideal, para a avaliação da irregularidade longitudinal e

transversal, permitindo determinar a profundidade da textura ou macrotextura e das rodeiras e, ainda, o IRI (Lne14). Trata-se de um equipamento constituído por uma viga de alumínio acoplada a um veículo, equipada com lasers que efetuam o levantamento do perfil da superfície do pavimento ao longo de alinhamentos paralelos ao sentido de deslocação do veículo, um sistema de medição de distância e velocidade, acelerómetros e um computador de aquisição de dados. A Figura 3.11 ilustra o equipamento da EP e o seu modo de funcionamento.

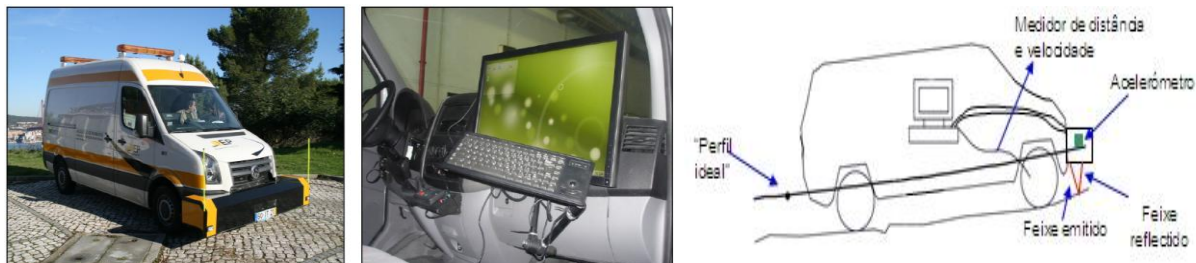


Figura 3.11 - Equipamento Perfilómetro Laser da EP (Horta, et al., 2013; Lne14)

O sistema de medição do deslocamento do veículo é composto por um sensor que é acoplado a uma das rodas do veículo. Os acelerómetros são utilizados para medir a aceleração vertical do veículo e, consequentemente, determinar os movimentos verticais do veículo, para que os resultados obtidos com os lasers possam ser calibrados tendo em conta este fator. Durante o levantamento, o operador técnico pode visualizar as medições em tempo real e registar no sistema todas as informações que julgar pertinentes, como por exemplo: necessidade de ultrapassagem (alteração do deslocamento inicialmente previsto), passagem por obras de arte (passagens inferiores, superiores), ou outras situações que possam ser importantes considerar posteriormente na análise dos dados obtidos (Alves, 2007).

O **Perfilómetro Inercial** ou **APL - *Analyseur du Profil em Long*** é um equipamento para determinação da irregularidade longitudinal em contínuo, de referência inercial, constituído por um reboque atrelado a um veículo, roda de medição, um pêndulo inercial com transdutor de deslocamentos associado e sistema de aquisição de dados. Apresenta-se na Figura 3.12 um esquema e fotografia deste equipamento.

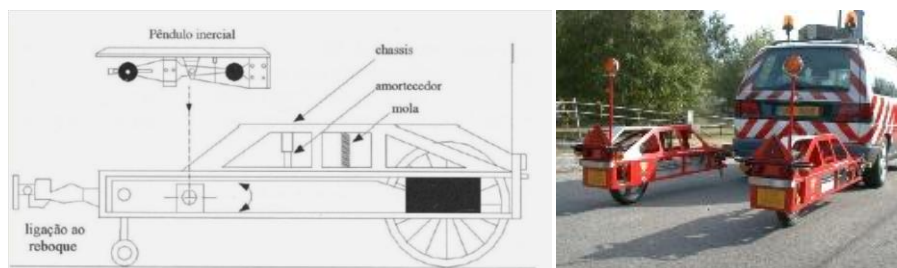


Figura 3.12 – Equipamento perfilómetro inercial (Branco, et al., 2011; Vec14)

A medição da distância é efetuada por uma roda de medição e a partir de um pêndulo inercial são determinadas as amplitudes que irão constituir o perfil longitudinal que é obtido num sistema de aquisição de dados a bordo do veículo rebocador. O princípio de medida está associado às oscilações angulares entre o braço de suporte da roda de medição que é mantida em contacto permanente com o pavimento (através de um sistema de suspensão e de amortecimento) e o pêndulo inercial (que representa um plano de referência inercial), as quais



resultam dos movimentos verticais, devidos às elevações do perfil do pavimento. As oscilações angulares são medidas pelo transdutor de deslocamentos (Alves, 2007).

### 3.4.4. Drenabilidade Superficial

A camada de desgaste é a superfície de rolamento sobre a qual se realiza o contacto direto com o tráfego, devendo garantir uma adequada textura para facilitar a drenagem superficial das águas que escoam sobre a superfície. Contudo, as camadas de desgaste convencionais de um pavimento devem também transmitir as cargas dos veículos às camadas inferiores, ao mesmo tempo que impermeabilizam o pavimento, de forma a evitar a infiltração de água (Sardão et al, 2013).

A avaliação da capacidade drenante de um pavimento, flexível ou de blocos, pode ser avaliada através do Permeâmetro, para pavimentos drenantes ou superficialmente permeáveis, ou do medidor de escoamento ou *Outflow meter*.

O **Ensaio do Permeâmetro** regulado pela norma EN 12697-40 (CEN, 2005), consiste na colocação do permeâmetro a 75 mm do solo, sendo o ensaio realizado em condições de pavimento húmido (os poros já devem estar saturados). A base do equipamento deve estar totalmente aderente ao pavimento, para determinar o tempo que leva a escoar 4 litros de água numa dada área de superfície de pavimento. Este é utilizado para determinar a condutividade hidráulica relativa da superfície do pavimento. Na Figura 3.13 ilustra-se este equipamento (Alves, 2007).

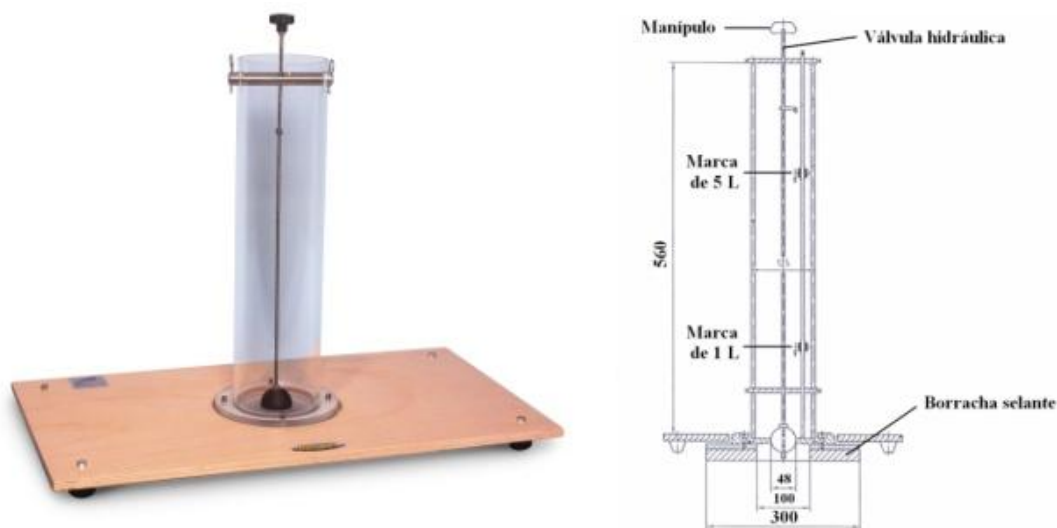


Figura 3.13- Permeâmetro e esquema do mesmo (Jet14; Alves, 2007)

A medição deve ser efectuada duas vezes, determinando-se a média de cada ponto de ensaio (10 pontos de ensaio de 20 em 20 metros). Se a diferença entre os valores for superior a 5% da média, então repete-se o ensaio até que dois ensaios sucessivos apresentem uma diferença  $\leq 5\%$ . O tempo de escoamento é determinado tendo em conta a média dos valores obtidos para os 10 pontos de ensaio. O valor obtido é corrigido de um factor de modo a normalizar o resultado para uma temperatura de 20°C (Alves, 2007).

O **Medidor de Escoamento ou *Outflow meter*** é um equipamento constituído por um tubo em acrílico com 60 mm de diâmetro e 410 mm de altura, um disco de bronze para dar estabilidade, um disco de borracha de precisão e um cronómetro, conforme se ilustra na Figura 3.14.

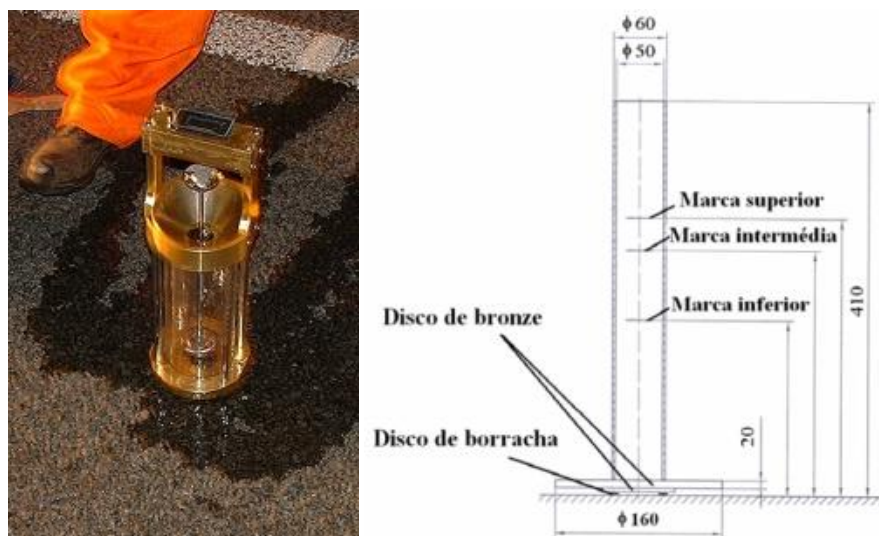


Figura 3.14- Medidor do escoamento e esquema do mesmo (Pave14; Alves, 2007)

O ensaio realizado com o medidor é regulado pela norma NP EN 13036-3 (IPQ, 2011) e tem como objetivo simular a drenagem da água que está entre a área de contacto de um pneu de um veículo em movimento e o pavimento. O equipamento é colocado na superfície de ensaio, cheio com água, sendo registado o tempo que demora a escoar determinado volume de água. Devem ser efetuados pelo menos 10 ensaios, distanciados de aproximadamente 2,5 m, para trechos de 25 m considerados como representativos de uma extensão que pode variar de 300 m a 500 m. Antes de iniciar o ensaio, a parte inferior do *Outflow meter* deverá ser imersa completamente em água, de modo a molhar o disco de borracha. Seguidamente, o *Outflow meter* é colocado verticalmente na superfície de ensaio, tendo o especial cuidado de verificar se a borracha do disco não entra em contacto com nenhuma partícula saliente do pavimento ou colocado em cima de uma depressão isolada. Posteriormente é colocada água no interior do cilindro e é registado o tempo que demora a ser escoada a água com um volume equivalente entre a marca superior e inferior marcadas nas paredes do cilindro. Caso demore mais de 3 minutos até que o nível da água desça até ao nível da marca intermédia, deverá ser registado o tempo que leva até escoar o volume de água entre a marca superior e a marca intermédia. O resultado deste ponto de ensaio é obtido multiplicando o valor de ensaio por 6. O tempo de escoamento (OT) para o comprimento da superfície é determinado efetuando a média de 10 pontos de ensaio (Alves, 2007).

### 3.4.5. Ruído

O ruído produzido pelo tráfego rodoviário é um indicador de desempenho dos pavimentos e um problema ambiental, resultando dos mecanismos de contacto entre o pneu e a superfície do pavimento. Torna-se, assim, importante efetuar a avaliação do ruído das superfícies da rede rodoviária.

O método de avaliação do ruído mais utilizado em Portugal é o **Método Estatístico de Passagem (SPB - Statistical Pass-By)**. Com o intuito de determinar o desempenho acústico da superfície de um pavimento é determinado um índice que tem em conta as categorias de veículos e velocidades, e os níveis sonoros do veículo, o Índice Estatístico de Passagem (SPBI, *Statistical Pass-By Index*) (Alves, 2007).

Este ensaio regulado pela norma ISO 11819-1 (ISO, 2013) é realizado posicionando sonómetros a 7,5 m do centro da via de circulação na qual vão passar os veículos alvo de medição, e a 1,2 m acima da superfície do pavimento, para efetuar a medição do nível sonoro máximo de um número estatisticamente significativo de passagens individuais de 3 categorias de veículos (veículos ligeiros, veículos pesados de dois eixos, e veículos pesados de múltiplos eixos), num determinado local de ensaio, escolhido como representativo de uma dada secção de estrada, e tendo em conta as categorias de estrada correspondentes a determinados intervalos de velocidades de tráfego (velocidade baixa – 45 km/h a 64 km/h; velocidade média, de 65 km/h a 99 km/h; velocidade elevada – mais de 100 km/h) (Alves, 2007).

As medições incluem para cada passagem de veículo o registo do nível sonoro, a velocidade do veículo e a temperatura do ar e a do pavimento a cada 15 minutos. As condições meteorológicas devem ser tidas em conta, já que a velocidade do vento não poderá ser superior a 5m/s durante as medições (Alves, 2007).

Na Figura 3.15 apresenta-se uma imagem que demonstra a realização deste ensaio e esquemas de definição da zona onde não é permitida a existência de quaisquer barreiras de segurança e exigências relativamente à área que o tipo de superfície deverá abranger (Santos A., 2007).

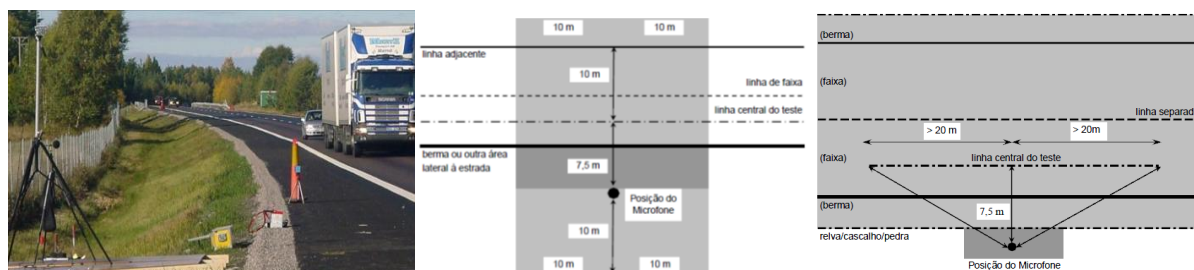


Figura 3.15 - Método estatístico de Passagem ou SPB (Hig14; Alves, 2007)

### 3.5. Avaliação da Capacidade Estrutural

A avaliação da capacidade estrutural pode ser efetuada através de métodos empíricos que consistem, essencialmente, na observação do comportamento de pavimentos rodoviários, e de métodos analíticos, que se baseiam na análise de parâmetros relacionados com a capacidade de carga, sendo utilizado habitualmente a deflexão medida num ensaio de carga. O pavimento está sujeito à ação do tráfego e do clima, verificando-se, por isso, uma evolução das deflexões ao longo do tempo. Tendem a diminuir ao longo dos anos de serviço do pavimento, aumentando novamente no final da sua vida útil.

A informação relativa à capacidade de carga de um pavimento é mais utilizada ao nível da rede para apoiar os gestores da rede através da caracterização genérica do estado estrutural e ao

nível de projeto para caracterizar com maior precisão o estado ou evolução do pavimento (Branco et al, 2011).

Para a avaliação da qualidade estrutural do pavimento e posterior caracterização do seu comportamento estrutural existem dois tipos de ensaios, os ensaios destrutivos ou sondagens e ensaios não destrutivos. Os ensaios destrutivos (carotagem ou poços) são realizados para que sejam efetuados ensaios laboratoriais das amostras retiradas, com a finalidade de identificar os materiais, espessuras presentes no pavimento em estudo e retirar alguma informação acerca da resistência estrutural das camadas do pavimento (Francisco, 2012).

Nos ensaios em laboratório determina-se sobre o solo, por exemplo, a capacidade de suporte do solo (CBR), os limites de consistência (LL, LP), as propriedades físicas (granulometria, densidade, entre outros). Sobre os tarolos de camadas betuminosas pode determinar-se a composição das misturas ou fazer-se uma caracterização mecânica (módulos de deformabilidade, comportamento à fadiga e resistência à deformação permanente). No entanto, a determinação destes parâmetros não reflete totalmente o desempenho do material *in situ*, uma vez que não é possível reproduzir com exatidão nos ensaios as condições de solicitação dos materiais no pavimento, quando submetidos à ação combinada de cargas e do clima.

Os ensaios não destrutivos utilizam equipamentos de avaliação da capacidade de carga do pavimento, através da medição da deflexão num determinado ponto sobre o pavimento onde é aplicada uma carga pontual, deflectómetro de impacto (FWD).

As **sondagens** têm como objetivos permitir a caracterização complementar dos materiais dos pavimentos com recurso a equipamentos de laboratório e permitir conhecer a espessura das camadas e materiais constituintes. Podem ser efetuadas por rotação, em que são retirados tarolos cilíndricos (opção de escolha do diâmetro dos tarolos pretendido) e por abertura de poços, preferencialmente junto à berma de modo a evitar perturbação e destruição nas vias de tráfego. No caso da execução de poços é necessário repará-los após o ensaio, para que o nível de serviço requerido ao pavimento não se altere, e de modo a não ser tornar um potencial foco de ocorrência de patologias (Alves, 2007). Na Figura 3.16 exemplificam-se os dois tipos de sondagens.



Figura 3.16 - Sondagem por rotação e abertura de poço (Bernucci et al, 2008)

O **Radar de Prospeção, Georadar ou GPR - Ground Penetrating Radar**, é um equipamento que permite efetuar a caracterização e determinação das espessuras das diferentes camadas do pavimento através da emissão e receção de ondas eletromagnéticas de grande energia e alta frequência que, ao propagarem-se através de um meio e encontrando interfaces entre materiais

ou objetos com distintas propriedades eletromagnéticas, sofrem fenómenos de reflexão, refração e difração. As reflexões são detetadas e registadas pela antena obtendo-se um registo contínuo de sinais ao longo de um perfil (Ferreira, 1996). Na Figura 3.17 ilustra-se o Georadar com antena dipolar e antena suspensa, assim como o esquema do modo de funcionamento.



Figura 3.17 – Equipamento Georadar e modo de funcionamento (Geo14; LNEC, 2005)

A avaliação com **Deflectómetro de Impacto** ou **FWD-Falling Weight Deflectometer**, não faz parte do levantamento típico das redes para efeitos de gestão da conservação. No entanto refere-se por ser um equipamento que permite efetuar a medição dos deslocamentos verticais da superfície nos pontos de medição, em resposta a uma carga de impacto, para avaliar a capacidade estrutural de um pavimento. É um equipamento mais indicado para a observação da capacidade de suporte ao nível do projeto, pois permite uma adequada e rápida caracterização da capacidade estrutural das diferentes camadas do pavimento (Santos, 2009). Na Figura 3.18 ilustra-se um deflectómetro de impacto.

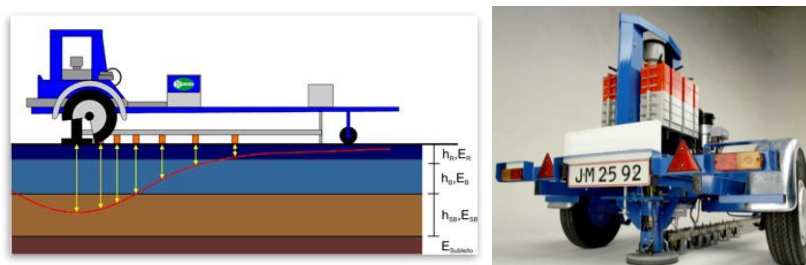


Figura 3.18 - Deflectómetro de impacto (Cpr14; Tec14)

### 3.6. Sistema de Avaliação de Qualidade e Estratégias

Da avaliação da qualidade resulta o estabelecimento de indicadores do estado atual da rede, podendo estabelecer-se as intervenções que têm de acontecer de imediato, de modo a recuperar os segmentos em estado de conservação muito degradado, na condição de poderem ser geridos por um sistema de gestão de médio/longo prazo (Ascenso, 2011).

#### 3.6.1. Avaliação da Qualidade de Pavimentos Flexíveis

Independentemente do método utilizado para o levantamento das degradações, é necessário estabelecer níveis de gravidade para o estado de conservação do pavimento. O Catálogo de



Degradações de Pavimentos Rodoviários, da EP, por exemplo, define as patologias dos pavimentos flexíveis e classifica-as em três níveis de gravidade, com fotografias ilustrativas.

O Índice de Qualidade (IQ) é um índice que qualifica a rede em função de indicadores do estado do pavimento como o IRI, as rodeiras, o fendilhamento, as covas e ninhos, as peladas e as reparações, os quais provêm do levantamento visual.

A metodologia que se propõe para avaliar a condição global de um pavimento flexível, é a utilizada no estado do Nevada e baseada no valor de PSI (*Present Serviceability Index*), tendo sido adaptada à cidade de Lisboa com parâmetros representativos da realidade portuguesa (Picados dos Santos et al, 2004), de modo a permitir determinar o IQ através da expressão (3.1).

$$IQ = 5 \times e^{-0,0002598 \times IRI} - 0,002139 \times R^2 - 0,10 \times (C + S + P)^{0,5} \quad (3.1)$$

Em que,  $(C+P+S) \leq 100\%$  e:

IQ - índice de qualidade;

IRI – irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km);

R – profundidade média das rodeiras (mm);

C – percentagem de área afetada por fendilhamento e pele de crocodilo ( $m^2/100 m^2$ )

S – percentagem de área afetada por degradações superficiais de materiais e covas ( $m^2/100 m^2$ )

P – percentagem de área afetada por reparações ( $m^2/100 m^2$ )

Para tal é necessário estabelecer os níveis de gravidade das patologias para pavimentos flexíveis, sendo estes classificados de acordo com a Tabela 3.6.

É também necessário conhecer o IRI do pavimento, parâmetro que pode ser obtido diretamente da observação com equipamento específico ou, quando não for possível, inferir o valor do IRI através do princípio de que o valor deste índice depende das degradações, quantificando-se da forma indicada na Tabela 3.7, onde os níveis de gravidade para cada degradação considerada resultam da ponderação dos níveis de gravidade registados ao longo do trecho, ponderados em função das respetivas extensões de ocorrência (Picado dos Santos, 2012).

Tabela 3.6 - Dados para avaliação da qualidade (Picado dos Santos, 2012)

| Degradação  | Gravidade | Descrição do nível de gravidade  | Valor para efeitos de cálculo |
|---|-----------|--|-------------------------------|
| Rodeiras<br>(R)   | 1         | Profundidade máxima da rodeira inferior a 10mm                         | 5 mm                          |
|   | 2         | Profundidade máxima da rodeira entre 10mm e 30mm                       | 20 mm                         |
|   | 3         | Profundidade máxima da rodeira superior a 30mm                         | 30 mm                         |
| Fendilhamento<br>(C)  | 1         | Fenda isolada  | $0,5 \times C$                |
|   | 2         | Fendas longitudinais ou transversais, abertas ou ramificadas           | $2 \times C$                  |
|   | 3         | Pele de crocodilo  | $C \times L$                  |
| Peladas, desagregações superficiais, exsudação do betume, polimento dos agregados, deformações localizadas<br>(S) | 1         | Anomalia com largura inferior a 30cm                                   | $0,5 \times C$                |
|   | 2         | Anomalia com largura entre 30cm e 100cm                                | $2 \times C$                  |
|   | 3         | Anomalia com largura superior a 100cm                                  | $C \times L$                  |
| Covas ou Ninhos<br>(S)  | 1         | Profundidade máxima da cavidade inferior a 2cm                         | $0,5 \times C$                |
|   | 2         | Profundidade máxima da cavidade entre 2cm e 4 cm                       | $2 \times C$                  |
|   | 3         | Profundidade máxima da cavidade superior a 4cm                         | $C \times L$                  |
| Reparações<br>(P)   | 1         | Reparações bem executadas  | $0,25 \times C \times L$      |
|   | 2         | Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas | $0,5 \times C \times L$       |
|   | 3         | Reparações mal executadas  | $C \times L$                  |
| Em que C é o comprimento afetado e L a largura do trecho ou via   |           |  |                               |

Tabela 3.7 - Valores de IRI na ausência de medição direta (Figueiredo, 2011; Picado dos Santos, 2012)

| Degradação   | Intervalo                 | Condição   | Nível | IRI                            |
|--|---------------------------|--|-------|--------------------------------|
| Fendilhamento  | $\leq 1.25$               | $\leq$   | 1     | <b>Tipo 1</b><br>IRI=700mm/km  |
| Rodeiras   |                           | $\leq$   | 1     |                                |
| Peladas, reparações, desagregação superficial, etc.        |                           | $\leq$   | 1     |                                |
| Fendilhamento  | $\geq 1.25$ e $\leq 2.25$ | Todos os casos que não correspondem ao Tipo 1 ou ao Tipo 3 |       | <b>Tipo 2</b><br>IRI=2000mm/km |
| Rodeiras   |                           |  |       |                                |
| Peladas, covas, reparações, desagregação superficial, etc. |                           |  |       |                                |
| Fendilhamento  | $\geq 2.25$               | $=$  | 3     | <b>Tipo 3</b><br>IRI=3500mm/km |
| Rodeiras   |                           | $=$  | 3     |                                |
| Peladas, reparações, desagregação superficial, etc.        |                           | $\geq$   | 2     |                                |

De forma a ser perceptível como se calcula o valor do IRI apresenta-se um exemplo simples (Figueiredo et al, 2013):

Numa estrada com 100 m de comprimento e 6 m de largura, suponha-se que 20 m estão afetados por fendilhamento do tipo fendas longitudinais, ou seja, fendilhamento de gravidade 2, de acordo com a Tabela 3.6. Suponha-se ainda que o pavimento tem 10 m afetados com fendilhamento do tipo pele de crocodilo, ou seja, gravidade 3, e que não tinha mais qualquer tipo de degradação. Assim, a restante extensão de 70 m terá um fendilhamento com o nível de gravidade 1 (o mínimo considerado na metodologia).

Como apenas existe fendilhamento, para o cálculo do IRI considera-se apenas aquela patologia, quantificada pela expressão (3.2).

$$Fendilhamento = \frac{\text{Gravidade} \times \text{comprimento afetado}}{\text{Comprimento total}} = \frac{2 \times 20 + 3 \times 10 + 70 \times 1}{100} = 1,4 \rightarrow \text{Tipo 2} \quad (3.2)$$

Uma vez que o pavimento não apresentava mais nenhum tipo de patologia pode concluir-se que o IRI é do tipo 2, ou seja, tem um valor de 2000mm/km. O raciocínio seria o mesmo no caso de existirem outras patologias, sendo o valor do IRI decidido com base no nível de gravidade mais elevado das patologias consideradas.

O IQ é um valor que pode variar no intervalo entre 0 (pavimento em muito mau estado) e 5 (pavimento em muito bom estado), classificando o estado do pavimento em bom, razoável e medíocre, conforme Tabela 3.8 (Picado dos Santos, 2012).

Tabela 3.8 - Avaliação da qualidade do pavimento através do IQ (adaptado de Picado dos Santos, 2012)

| IQ             |            |                  |            |
|----------------|------------|------------------|------------|
| Classificação: | Bom        | Razoável         | Mediocre   |
|                | $IQ > 3.5$ | $2.5 < IQ < 3.5$ | $IQ < 2.5$ |

### 3.6.2. Avaliação da Qualidade de Pavimentos de Blocos Prefabricados de Betão

A utilização de blocos prefabricados de betão em pavimentos é uma opção viável para vias de baixo tráfego. Como na literatura portuguesa não existe nenhum método de avaliação da qualidade deste tipo de pavimentos, apresenta-se uma metodologia de avaliação da qualidade de pavimentos de blocos prefabricados de betão, implementada pelo ICPI (ICPI & ARA, 2007) e baseada no cálculo do PCI (*Pavement Condition Index*) que correlaciona o tipo, quantidade e níveis de gravidade das degradações superficiais dos pavimentos, conforme se ilustra na Figura 3.19. Esta metodologia vai permitir estabelecer correspondência com a avaliação de estratégias simplificada do *Asphalt Institute*, no que respeita ao tempo para intervir no pavimento.



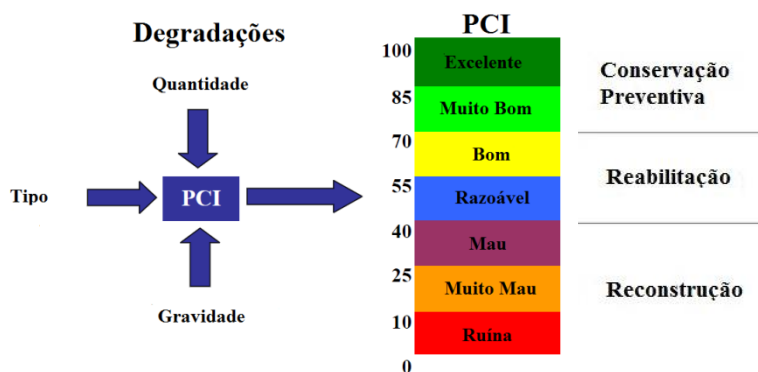


Figura 3.19- Fluxograma de determinação do PCI (adaptado de ICPI&ARA, 2007)

À semelhança do que acontece com os pavimentos flexíveis o ICPI propõe níveis de gravidade para as degradações dos pavimentos de blocos prefabricados de betão, estes são referidos na Tabela A. 2 do anexo II.

O cálculo do PCI inicia-se com a identificação e quantificação dos tipos de degradações e a sua gravidade, existentes numa determinada via. O ICPI propõe que a avaliação seja efetuada em secções representativas de uma via e apresenta no manual os critérios de escolha dessas secções. No entanto, ainda que a via seja dividida em secções para melhor tratamento dos dados, consideram-se todas as secções avaliadas na determinação do PCI da via.

Segue-se a determinação da densidade da degradação, através da divisão da área, ou comprimento, ou largura, afetada por cada degradação, pela área, ou comprimento, ou largura total da via. Como a densidade é uma percentagem, o valor obtido é multiplicado por 100.

Através da densidade da degradação e das curvas de dedução (ilustra-se um exemplar na Figura 3.20 aplicável a depressões) do manual do ICPI (ICPI & ARA, 2007), determina-se o valor deduzido (DV).

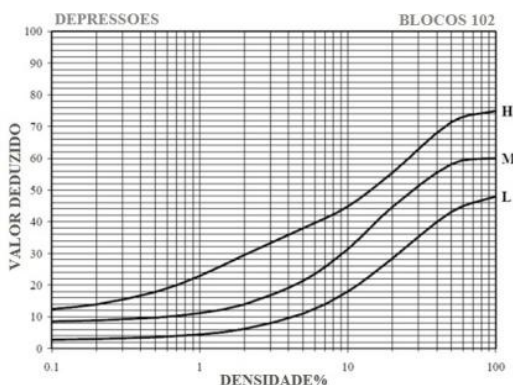


Figura 3.20- Curva de dedução para as depressões (ICPI & ARA, 2007)

O procedimento seguinte aplica-se para determinar o valor deduzido máximo corrigido, CDV. Se existir apenas um ou nenhum valor deduzido, DV, superior a dois, utiliza-se o valor total (TDV) em vez do máximo CDV para determinar o PCI; caso contrário, o máximo CDV é determinado da seguinte forma:

- 1º. Listar os valores deduzidos (DV) por ordem decrescente;
- 2º. Determinar o parâmetro  $m$  que corresponde ao número de reduções possíveis, através da fórmula  $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - HDV) \leq 10$ , em que HDV é o máximo valor deduzido individual;
- 3º. Se existirem menos DV que  $m$ , então serão utilizados todos os DV para determinar CDV; caso contrário, o número de valores individuais de DV a considerar é igual ao número  $m$  de valores mais altos de DV, incluindo a parte fracionária;
- 4º. Determinar o parâmetro  $q$  que corresponde ao número de DV com valor superior a 2;
- 5º. Determinar CDV através do número  $q$  e do valor TDV (do tipo da Figura A.2 do Anexo II);
- 6º. Calcular o CDV iterativamente, reduzindo, em cada passo, para 2 os valores de DV superiores a 2, repetindo o procedimento até que  $q=1$ . O valor máximo CDV é o maior valor de CDV determinado, conforme se ilustra na Figura 3.21.

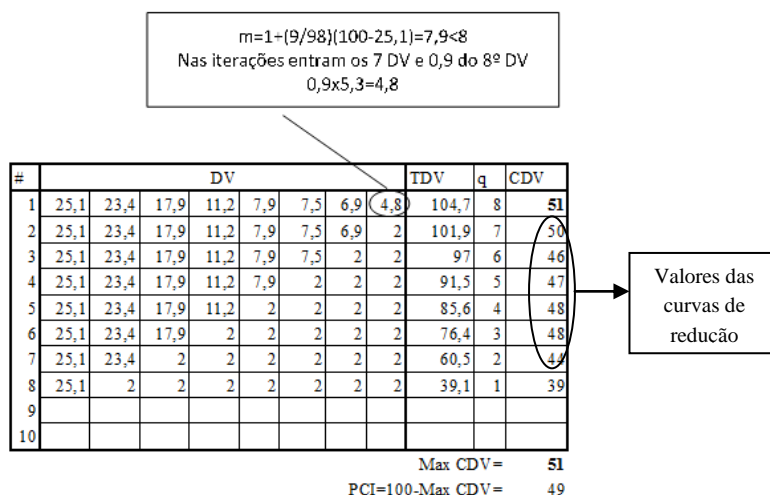


Figura 3.21 - Exemplo para determinação do CDV de forma iterativa (AASHTO, 1993)

O PCI da seção é então calculado subtraindo o máximo CDV a 100, ou seja,  $PCI = 100 - \text{Max CDV}$ . O PCI da via é a média ponderada das áreas e dos respectivos PCI obtidos para cada seção avaliada.

No anexo III apresenta-se um exemplo de cálculo para ilustrar melhor a metodologia proposta pelo ICPI. Esta metodologia não poderá ser utilizada nos restantes pavimentos de blocos pois as curvas de dedução foram executadas para blocos prefabricados de betão, atendendo à experiência de utilização dos mesmos e ao seu comportamento em pavimentos rodoviários.

### 3.6.3. Avaliação de estratégias

Após determinado o IQ do pavimento é necessário definir estratégias para decidir qual o prazo de intervenção, por forma a reduzir custos e manter a qualidade do pavimento. A avaliação de estratégias consiste em utilizar modelos de comportamento do pavimento, que contribuem para prever o estado dos pavimentos durante o ciclo de vida, definir custos diretos e indiretos da conservação na ótica do custo-benefício num processo de otimização e melhoramento do estado

do pavimento, avaliar os diferentes objetivos da qualidade e as restrições existentes para aplicação dos recursos num período considerado, o que vai permitir determinar as consequências da aplicação de uma determinada estratégia de conservação e ajudar num processo de decisão (Picado dos Santos, et al., 2006; Luz, 2011).

Em Portugal tem sido utilizado um modelo de otimização, baseado no **Modelo Determinístico da American Association of State Highway and Transportation Officials** (AASHTO) (AASHTO, 1993) para a previsão do comportamento dos pavimentos, traduzido pela fórmula (3.3) (Pereira et al, 2006).

$$\log_{10}(N_{80t}^{Dim}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN_t + 1) - 0,20 + \frac{\left[ \log_{10} \frac{\Delta IQ_t}{4,2-1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN_t+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_{R_t}) - 8,07 \quad (3.3)$$

Em que:

$N_{80t}^{Dim}$  - é o número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação;

$Z_R$  - é o desvio padrão da regressão;

$S_0$  - é o erro padrão combinado relativo à previsão do tráfego e desempenho dos pavimentos;

$SN_t$  - é o número estrutural do pavimento no ano t;

$\Delta IQ_t$  - é a diferença entre o valor do IQ no ano da construção ou da última reabilitação e o IQ no ano t;

$M_R$  - é o módulo de deformabilidade do solo de fundação.

Este modelo é determinístico, pois o conjunto de dados de entrada é conhecido (ou estimado) e deste resulta apenas uma saída. Como dados de entrada, no primeiro membro, o número de repetições de carga que solicita o pavimento durante a sua vida, ou apenas num período de tempo, não é mais que uma previsão da evolução do tráfego e, no segundo membro, as características estruturais do pavimento, através do número estrutural que é função da espessura, do coeficiente estrutural, do coeficiente de drenagem, e do módulo de deformabilidade do solo de fundação (AASHTO, 1993). A saída obtida é a variação do IQ em função do aumento de tráfego previsto para um determinado período de tempo t.

Com estes dados podem ser definidas algumas estratégias de intervenção para a conservação e a consequente variação do número estrutural (Picado dos Santos et al, 2006). Uma estratégia consiste em, por exemplo, efetuar uma ação de conservação quando o IQ atinge o nível mínimo de qualidade (NMQ), normalmente NMQ=2. Uma estratégia diferente corresponde a atuar apenas quando o IQ atinge valores inferiores ao mínimo definido como aceitável. No entanto, qualquer estratégia definida acarreta custos, custos da administração (custo de construção, conservação, reabilitação e o valor residual) e custos para os utilizadores (custo de operação dos veículos, custo do tempo de viagem e custo de acidentes) (Luz, 2011).

Uma intervenção tardia no pavimento implica aumento de custos, tanto para a administração, como para o utilizador, mas se a entidade gestora efetuar, uma ou mais intervenções no tempo certo, esses custos serão reduzidos.

A avaliação de estratégias é efetuada com recurso a análises determinísticas ou probabilísticas, as quais podem ser otimizadas, com base no IQ, tempo de atuação, custo-benefício (interesses da entidade gestora e utilizadores) do ciclo de vida de um pavimento, restrições existentes (por exemplo, orçamentais), entre outros.

Apresenta-se, a título demonstrativo, os resultados da avaliação de três estratégias de intervenção com ações de conservação para um prazo de atuação de 10 anos, em dois trechos viários (Picado dos Santos et al, 2006). Os autores estabeleceram para primeira estratégia intervir apenas quando o pavimento atingir o nível mínimo de qualidade (NMQ); a segunda estratégia foi definida com o objetivo de minimização dos custos de conservação (CC), ou seja, otimizar o desempenho da administração na conservação da rede; a terceira estratégia foi definida para a minimização dos custos totais (Picado dos Santos et al, 2006). A Figura 3.22 ilustra o resultado desta avaliação em função do IQ e dos custos totais, para um dos trechos viários.

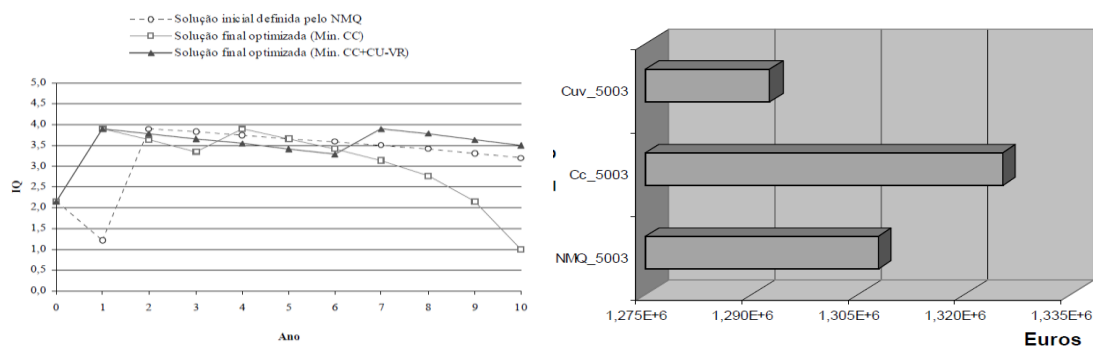


Figura 3.22 – Evolução do IQ e custos totais consoante a estratégia (Pereira et al, 2006)

Esta metodologia aplicada a um sistema de avaliação de estratégias permite fazer propostas de intervenção de modo a manter a qualidade da rede acima de um determinado nível de qualidade, investindo o mínimo em conservação, de modo a atingir os objetivos procurados ao longo dos anos do período de planeamento (Picado dos Santos et al, 2006). A sua implementação de uma metodologia como a que se descreveu exige conhecimentos específicos e muitas horas de implementação, além do recurso intensivo a aplicações informáticas dedicadas. Compreende-se que para entidades gestoras de âmbito nacional seja utilizada esta metodologia, embora para pequenas redes de gestão municipal, atendendo ao conhecimento generalista dos técnicos, pode ser utilizada uma metodologia de implementação mais simples.

De modo a mostrar processos mais simplificados de atuação, descreve-se um método utilizado para prever o estado de deterioração do pavimento em áreas urbanas, conhecido o estado de conservação atual, conhecido por **Método Probabilístico baseado nas Cadeias de Markov**, tal como aplicado por (Hassan et al, 2014). Assenta na propriedade markoviana de que o estado futuro de um pavimento depende do seu estado atual, mas não depende do estado passado. É um processo estocástico discreto em relação ao tempo (sem memória, pois o passado não é considerado), com intervalos de estado finitos.

Este modelo consiste no desenvolvimento de vetores de partida que caracterizam o estado atual do pavimento, e matrizes de probabilidade de transição que estabelecem a probabilidade de evolução futura de um dados estado de conservação para outro pior. O sistema pode ser

estacionário (taxa de deterioração constante), existindo apenas uma matriz de probabilidade de transição que traduz uma evolução constante do estado ao longo do tempo, ou pode ser um sistema variável com diversas matrizes de probabilidade, para diferentes intervalos de tempo. As matrizes de probabilidade de transição representam a proporção da via que está num determinado estado e a fração que vai transitar para outro estado de conservação imediatamente a seguir (Hassan et al, 2014).

Neste método pode considerar-se, por exemplo, o estado do pavimento classificado em cinco níveis: excelente (EX), bom (B), razoável (RA), mau (M) e muito mau (MM). Um vetor inicial que represente as condições iniciais do pavimento imediatamente após a construção, ou à data da avaliação, do tipo  $X_0 = [1, 0, 0, 0, 0] = [EX, B, RA, M, MM]$ , representa um estado de conservação excelente. Seguidamente define-se o vetor de estado, que indica a fração da via em cada estado de conservação, obtido pelo somatório dos comprimentos da via em determinado estado, dividido pelo comprimento total desta, ou seja,  $X_{(2014)} = [0,45, 0,14, 0,18, 0,13, 0,09] = [EX, B, RA, M, MM]$  ou  $X_{(2014)} = [0,45, 0,14, 0,18, 0,13, 0,09] = [1, 2, 3, 4, 5]$  para efetuar correspondência Figura 3.23 (Hassan et al, 2014).

Outro conceito importante é a definição do estágio, ou ciclo de serviço, normalmente um ano, correspondente a um ano de tráfego e consequente degradação da vida útil do pavimento. Pode, em vez disso, considerar-se um ciclo de dois anos (Hassan et al, 2014).

Por fim, define-se a matriz probabilística de transição (MPT) de um estado para o outro, a peça mais importante deste modelo e também a menos precisa. Nesta matriz são definidas as probabilidades de transição,  $P_{ij}$ , que indicam a probabilidade da seção da via no estado de conservação  $i$  evoluir para o estado  $j$ , no ciclo definido, e as probabilidades de transição  $P_{ii}$ , que representam a probabilidade da seção da via no estado  $i$  se manter nesse estado, conforme se ilustra na Figura 3.23 (Hassan et al, 2014).

|           |   | PARA (j) |     |     |     |                      |
|-----------|---|----------|-----|-----|-----|----------------------|
|           |   | 1        | 2   | 3   | 4   | 5                    |
| DE<br>(i) | 1 | P11      | P12 | 0   | 0   | 0                    |
|           | 2 | 0        | P22 | P23 | 0   | 0                    |
|           | 3 | 0        | 0   | P33 | P34 | 0                    |
|           | 4 | 0        | 0   | 0   | P44 | P45                  |
|           | 5 | 0        | 0   | 0   | 0   | <b>P55 = Pnn = 1</b> |

Figura 3.23 - Matriz probabilística de transição (Hassan et al, 2014)

A definição desta matriz tem em conta algumas condições:

- Não existem entradas negativas;
- Na matriz só pode existir alteração de um nível no estado de conservação;
- A soma das entradas em cada linha é igual a um, em que  $P_{ij} = 1 - P_{ii}$  ou  $P_{ii} = 1 - P_{ij}$ ;
- $P_{ij} = 0$  para  $i > j$ , o que significa que o estado de conservação não melhora se não existir ação de conservação;

- $P_{nn}=1$ , é um estado de absorção, o qual significa que o pavimento atingiu o pior estado de conservação e não pode transitar para outro estado; normalmente implica a reconstrução do pavimento.

O processo de deterioração é modelado pela multiplicação do vetor inicial, pela matriz de transição. O vetor de estado do estágio  $n$  deriva da multiplicação do vetor inicial pela matriz de transição, ou seja,  $X(1) = X(0) \times \text{MPT}$ . A probabilidade de deterioração para  $t=2$  é obtida através de  $X(2) = X(1) \times \text{MPT} = X(0) \times \text{MPT}^2$ , ou seja,  $X(t) = X(t-1) \times \text{MPT}^t$ .

O resultado da modelação é a percentagem de via nos diferentes estados de conservação ao longo do período de planeamento, em qualquer ano futuro, conforme se ilustra no gráfico da Figura 3.24.

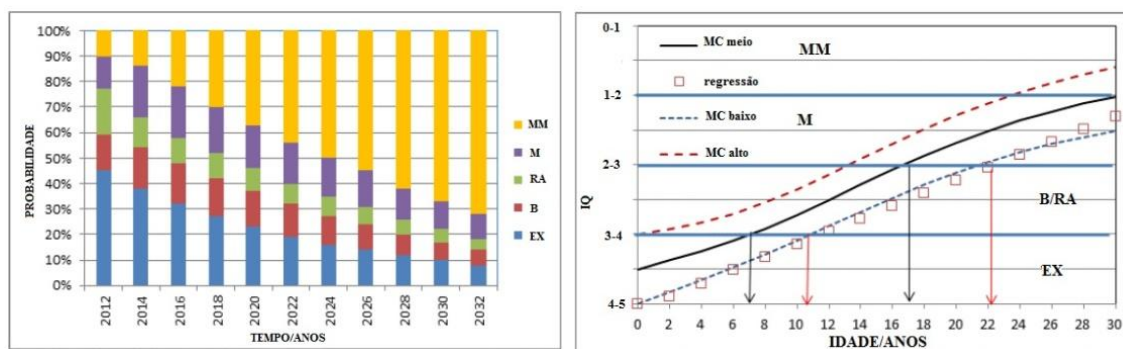


Figura 3.24 - Gráfico com a percentagem de degradações (esquerda) e curva de degradação (direita), de uma via, em cada ano (Hassan et al, 2014)

Tal como se ilustra na Figura 3.24 (direita), a previsão da evolução do IQ pode ser obtida em termos de valores médios de cada estado de conservação, ou considerando os limites mínimos ou máximos dos intervalos para cada classe de estado de conservação: EX, B, RA, M, MM.

O **Asphalt Institute** propõe uma metodologia simplificada de avaliação de estratégias que classifica o estado superficial de um pavimento de acordo com o PCI - *Pavement Condition Index* - ou índice global de qualidade do pavimento, propondo prazos de intervenção consoante o tipo de via em análise e o seu estado de conservação. A determinação do PCI é efetuada através de um método subjetivo de avaliação baseado na observação visual das degradações (Milestones, 2009). Na Tabela 3.9 apresenta-se uma correspondência aproximada entre o IQ e o PCI, a descrição do estado do pavimento e do conforto da viagem.

Tabela 3.9 – Intervalos do PCI e do IQ (Figueiredo, 2011; Picado dos Santos, 2011; Milestones, 2009; Asphalt-Institute, 2009)

| IQ  | PCI    | ESTADO DO PAVIMENTO   |
|-----|--------|---|
| 4-5 | 80-100 | Excelente/Muito plano   |
| 3-4 | 60-80  | Bom/ Plano com algumas saliências e depressões                    |
| 2-3 | 40-60  | Razoável / Confortável com saliências e depressões intermitentes  |
| 1-2 | 20-40  | Mau   Desconfortável com saliências e depressões frequentes       |
| 0-1 | 0-20   | Muito Mau  /Desconfortável com saliências e depressões constantes |

A aplicação de uma estratégia de conservação de pavimentos, ainda que simplificada, deve ter em consideração a classificação hierárquica das vias da rede, porquanto a prioridade das intervenções também deve considerar esse aspeto. Na descrição de algumas das características das vias de gestão municipal e apresenta-se uma classificação hierárquica das mesmas considerando três níveis, como é habitual fazer-se para vias municipais.

Tabela 3.10 descrevem-se algumas das características das vias de gestão municipal e apresenta-se uma classificação hierárquica das mesmas considerando três níveis, como é habitual fazer-se para vias municipais.

Tabela 3.10 - Características das vias de gestão municipal (CCDRN, 2008)

| DESIGNAÇÃO                                 | DESCRIÇÃO   | CARACTERÍSTICAS   |
|--|---|---|
| Distribuidora Principal<br>(Via Arterial)  | Vias de comunicação de interesse nacional e regional, asseguram a ligação entre centros urbanos de influência supra distrital (Itinerário Principal – IP) e concelhia, supraconcelhia e infra distrital (Itinerário Complementar –IC e Estrada Nacional - EN) | Ambiente urbano e rural<br>Tráfego elevado, moderado<br>Estacionamento desaconselhado<br>Velocidade (v) $\geq 50\text{km/h}$  |
| Distribuidora Secundária<br>(Via Coletora) | Vias de comunicação com interesse supramunicipal (EN), complementares à rede rodoviária nacional (Estrada Regional – ER) e que estabelecem a ligação às sedes de freguesia e outros espaços públicos de grande importância (Estrada Municipal – EM)           | Ambiente urbano (v=50km/h) e rural (v=90km/h)<br>Tráfego elevado, moderado<br>Existência de acessos e estacionamento<br>Rede contínua com existência de passeadeiras                              |
| Acesso local<br>(Via Local)                | Vias de comunicação que complementam a rede de estradas municipais, permitem a ligação entre sedes de freguesia e restantes localidades do concelho (Caminhos Municipais - EM)  | Velocidade $\leq 50\text{km/h}$<br>Tráfego moderado, reduzido<br>Existência de acessos e estacionamento<br>Rede descontínua e partilha de via por veículos e peões (inexistência de passeadeiras) |

Conhecido o PCI e o tipo de via, recorre-se à matriz de decisão, apresentada na Tabela 3.11. que, de acordo com a qualidade do pavimento flexível ou de blocos prefabricados de betão, estabelece um prazo indicativo para intervir no mesmo, com ações de conservação, reabilitação ou reconstrução.

Tabela 3.11 – Matriz de decisão (Figueiredo, 2011; Picado dos Santos, 2011; Milestones, 2009; Asphalt-Institute, 2009)

| Matriz de decisão |                              |                              |                              |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Intervenção       | Via Arterial                 | Via Coletora                 | Via Local                    |
| Não necessita     | PCI >85                      | PCI >80                      | PCI >80                      |
| 6 a 10 anos       | $76 \leq \text{PCI} \leq 85$ | $71 \leq \text{PCI} \leq 80$ | $66 \leq \text{PCI} \leq 80$ |
| 1 a 5 anos        | $66 \leq \text{PCI} \leq 75$ | $51 \leq \text{PCI} \leq 70$ | $46 \leq \text{PCI} \leq 65$ |
| Reabilitação      | $60 \leq \text{PCI} \leq 55$ | $45 \leq \text{PCI} \leq 50$ | $40 \leq \text{PCI} \leq 45$ |
| Reconstrução      | PCI <60                      | PCI <45                      | PCI <40                      |

Consoante o estado de degradação do pavimento, é necessário estabelecer estratégias de conservação, periódicas ou correntes, através da definição ou combinação de técnicas de conservação a utilizar.

A conservação periódica pode ser preventiva ou baseada na realização periódica de camadas de reforço de pavimento e visa manter a qualidade global do pavimento, através da realização de



intervenções que atenuam o efeito da progressão das degradações, quando estas se encontram na sua fase inicial de evolução. É esperado que após as intervenções de conservação previstas, o pavimento exiba um determinado nível de qualidade. Na Figura 3.25 ilustram-se três estratégias de conservação de pavimentos rodoviários, mostrando-se a evolução do IQ ao longo da vida útil do pavimento.

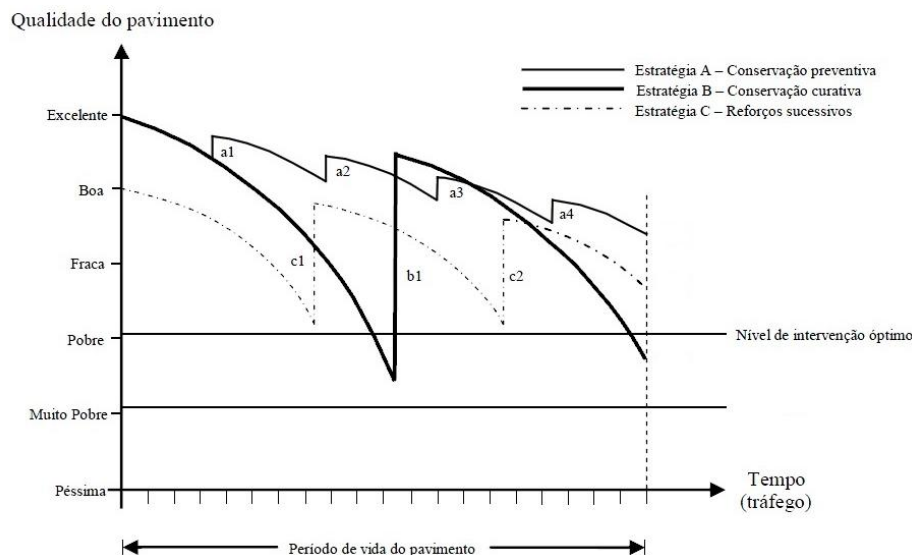


Figura 3.25 - Estratégias de conservação de pavimentos rodoviários (Minhoto, 2005)

### 3.7. Considerações Finais

Neste capítulo sintetizou-se a informação relativa à avaliação do estado de conservação dos pavimentos. Referiram-se os processos de recolha e organização dos dados que caracterizam os pavimentos das redes rodoviárias, de modo a avaliar globalmente a sua qualidade. Descreveram-se ainda duas metodologias de previsão da evolução no tempo do estado de conservação dos pavimentos: uma determinística (método da AASHTO) e outra probabilística (cadeias de Markov). Apresentou-se ainda como podem estabelecer-se diferentes estratégias de conservação levando em linha de conta um conjunto de objetivos e de restrições.

Uma vez conhecido, ou avaliado, o estado de conservação do pavimento através do levantamento das suas degradações, da classificação do seu estado atual e da previsão da sua evolução no tempo, e depois de estabelecido o tempo para intervir é necessário saber como intervir. Qual a técnica de conservação a utilizar?

As técnicas de conservação de pavimentos são o assunto a desenvolver no capítulo seguinte.

## 4. TÉCNICAS DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS

### 4.1. Considerações Iniciais

O estado das infraestruturas rodoviárias contribui significativamente para a vitalidade geral da economia, promovendo a mobilidade de pessoas e bens e o consequente desenvolvimento local, regional ou nacional. Até ao ano de 2008, o investimento público em novas estradas foi muito elevado, relegando a conservação das vias existentes para segundo plano. No entanto, atendendo à situação económica no nosso país, esta tendência inverteu-se. A extensão de infraestruturas existentes a necessitar de trabalhos de conservação tem vindo a aumentar e a construção de novas infraestruturas rodoviárias reduziu-se consideravelmente.

Mantendo a qualidade do pavimento ao longo do tempo, está a aumentar-se a sua vida útil e a eficácia dos programas de conservação preventiva, melhorando-se também a segurança dos utilizadores e da circulação de bens. A parcela dos orçamentos disponíveis para trabalhos de conservação rodoviária nas autarquias é cada vez menor, o que implica uma diminuição do investimento em obras rodoviárias. Contudo, é necessário manter o património construído, devendo optar-se cada vez mais pela conservação preventiva dos pavimentos existentes, retardando assim a sua degradação, evitando a execução de trabalhos mais dispendiosos, profundos e com maior impacto na circulação rodoviária (Figueiredo et al, 2013).

De acordo com o (Asphalt-Institute, 2009), na gestão da conservação rodoviária de âmbito municipal, a conservação pode classificar-se em preventiva, corretiva e de emergência, embora, por exemplo, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), utilize uma classificação diferente para os vários tipos de conservação: de rotina, de emergência, preventiva, curativa, funcional e estrutural (LNEC, 2005).

A **conservação preventiva** tem como objetivo atrasar o aparecimento de degradações ou a sua progressão, diminuindo a necessidade de intervenções posteriores. Este tipo de conservação consiste na realização de reparações localizadas, ou de tratamentos superficiais (Figueiredo, 2011).

A **conservação corretiva** tem como objetivo corrigir as patologias do pavimento, por exemplo através da reposição das características de atrito do pavimento, reparação de ninhos ou covas, eliminação da desagregação superficial, entre outros (Figueiredo, 2011).

A **conservação de emergência** é executada quando ocorrem patologias que necessitam de uma reparação rápida pelos prejuízos e desconforto que possam causar aos utentes da estrada. É necessária quando as administrações rodoviárias adotam uma política de conservação inadequada. Nesses casos as ações de conservação preventiva e corretiva não são realizadas atempadamente, o que leva ao aparecimento de patologias mais graves. Aqui estão incluídas as intervenções temporárias realizadas para tornar possível a utilização do pavimento (Figueiredo, 2011).

Existem várias técnicas de conservação de pavimentos, as quais devem ser escolhidas consoante o nível de degradação dos mesmos. Algumas aplicam-se em ações de conservação parciais e outras em intervenções contínuas, descrevendo-se neste capítulo as mais utilizadas.

## 4.2. Conservação Parcial da Superfície de Pavimentos Flexíveis

Nas técnicas de conservação parcial incluem-se a selagem individual de fendas, a fresagem localizada, as reparações localizadas e a abertura e tapamento de valas.

A **ranhuragem** é uma técnica que pode ser aqui incluída embora não seja considerada uma técnica de conservação, contribui para o bom desempenho dos pavimentos e consiste na abertura de ranhuras no pavimento, através de serragem, com profundidade média de 1 a 3 cm e 0,8 cm de largura, para aumentar a drenabilidade do pavimento, aumentando a velocidade de escoamento da água, de modo a evitar a acumulação de água na superfície do pavimento (Figueiredo, 2011).

### 4.2.1. Reparções localizadas

As reparações localizadas são uma técnica comum de tratamento de uma área localizada, na superfície do pavimento, ou nas camadas inferiores deste que consiste na remoção dos materiais deficientes ou em mau estado e substituição por materiais novos (LNEC, 2005). Nesta técnica incluem-se, por exemplo, a reparação de um remate de uma tampa de caixa, de visita ou inspeção, de infraestruturas subterrâneas, a reparação de um abatimento ou elevação (presença de raízes de árvores), reparação de covas ou ninhos, entre outros.

Os materiais utilizados nesta técnica são os seguintes (Figueiredo, 2011):

- Material granular britado quando é necessário refazer as camadas granulares;
- Rega de impregnação com emulsão betuminosa, por exemplo, dos tipos C 50 BF 5 (ECI) ou C 60 BF 5 (ECL-1), aplicada sobre a camada não ligada subjacente às camadas betuminosas;
- Misturas betuminosas a frio, constituídas por agregados e emulsão betuminosa (preparadas e embaladas); ou misturas betuminosas a quente, mais difíceis de utilizar atendendo à necessidade de manter a temperatura adequada, exigindo equipamento específico e tendo um considerável consumo energético;
- Rega de colagem com emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida e de baixa viscosidade (por exemplo, do tipo C 60 B 4 (ECR-1));
- Produto para selagem de juntas, constituído por uma resina ou mástique betuminoso, composto por betume e fíler, para evitar a entrada de água.

A Figura 4.1 ilustra alguns procedimentos de execução de uma reparação localizada, os quais se descrevem sumariamente (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança na área de trabalho;
- 2º. Limpeza de material solto e marcação do local de serragem com formato retangular até 0,30 m da área afetada (imagem A, na figura 4.1);

- 3º. Com uma serra com disco de corte procede-se ao corte do pavimento pela marcação, com bordos verticais até à profundidade necessária (imagem B, na figura 4.1);
- 4º. Remoção do material excedente, regularização do fundo e limpeza dos detritos com jato de ar que também ajuda a secar a superfície e posterior regularização do fundo;
- 5º. Execução da sub-base se necessário, através da colocação e compactação de material granular britado ou solos selecionados e aplicação de rega de impregnação (imagem C, na ilustração 4.1);
- 6º. Aplicação de rega de colagem na superfície da cavidade, para garantir aderência entre camadas, quando a profundidade da cova não atingiu todas as camadas betuminosas;
- 7º. Colocação e espalhamento da mistura betuminosa, com altura acima da cota do pavimento, até 1/5 da profundidade da cova (imagem D, na ilustração 4.1);
- 8º. Compactação da mistura com cilindro de pequenas dimensões, placa vibratória ou maço, consoante dimensões da reparação (imagem E, na figura 4.1);
- 9º. Limpeza de materiais sobrantes e remoção da sinalização de segurança (imagem F, na figura 4.1);
- 10º. Quando necessário, selar a junta de ligação do material colocado com o restante pavimento, utilizando mástique betuminoso.



Figura 4.1 - Procedimentos de execução de reparação localizada (Pav14)

A execução de uma reparação localizada com misturas a quente deve ser efetuada com temperatura ambiente superior a 10°C. Se a profundidade da reparação for elevada, a mistura betuminosa deve ser colocada em camadas até 10 cm de espessura e compactada.

#### 4.2.2. Selagem individual de fendas

A selagem individual de fendas é um tratamento localizado de impermeabilização do pavimento, cujo objetivo é impedir ou atrasar a progressão da área afetada por fendas de pequena dimensão, impedindo a penetração de água para as camadas inferiores do pavimento e a entrada de detritos. Para assegurar que a selagem seja efetiva e duradoura, deve ser escolhido o método mais adequado, ou seja, selagem com serragem prévia ou sem serragem da fenda. A

Universidade do Texas propõe no seu manual (Yildirim et al, 2006), a seleção do método baseado no movimento anual da fenda e nas condições do bordo da fenda, conforme se indica na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Seleção do método de selagem individual de fendas ( adaptado de Yildirim, et al., 2006)

| CARACTERÍSTICAS DA FENDA                | MÉTODO DE SELAGEM INDIVIDUAL DE FENDAS                   |  |
|---|--|--|
|   | Com serragem da fenda                                    | Sem serragem da fenda                                      |
| <b>Largura</b>                          | 0,5 cm até 1,9 cm  | 0,5 cm até 2,54 cm   |
| <b>Deterioração dos bordos da fenda</b> | Mínima ou nenhuma<br>$\leq 25\%$ do comprimento da fenda | Moderada ou nenhuma<br>$\leq 50\%$ do comprimento da fenda |
| <b>Movimento horizontal anual</b>       | $\geq 0,1$ cm  | $< 0,1$ cm   |
| <b>Tipo</b>                             | Transversal (geralmente)                                 | Transversais e longitudinais                               |

A selagem de fendas sem serragem é, em geral, aplicada em fendas de maior largura (superior a 1,5cm) e com moderada deterioração dos bordos, uma vez que está assegurada a penetração do selante. A selagem de fendas com serragem é aplicada em fendas de menor largura e com mínima deterioração dos bordos, ou nenhuma, para promover o alargamento destas, criando uma espécie de reservatório que assegure a penetração do selante. As dimensões do corte dependem do estado da fenda, mas normalmente tem 1cm de largura e 1 cm de profundidade. Em ambos os casos deve ser efetuado o remate da selagem. Na Figura 4.2 ilustram-se os dois métodos de selagem individual de fendas.

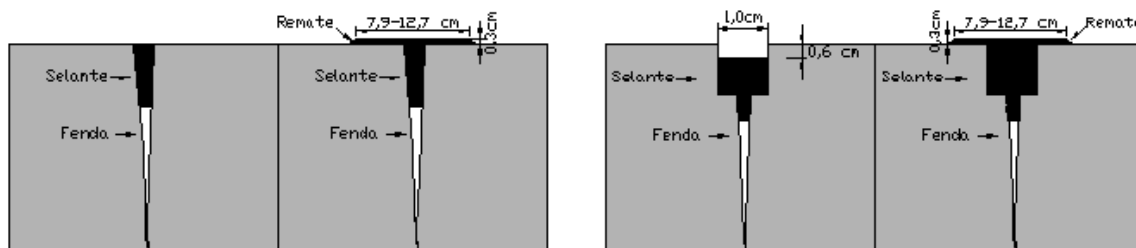


Figura 4.2 - Selagem individual de fendas sem serragem (imagem da direita) e com serragem (imagem da esquerda) (adaptado de Asphalt-Institute, 2009)

O selante é utilizado para ligar os bordos da fenda. Quando em serviço deve resistir à abrasão e aos danos causados pelo tráfego, mantendo a capacidade para expandir ou para contrair no intervalo de temperaturas de serviço, sem romper e sem perder aderência às paredes da fenda (Figueiredo, 2011). O material selante pode ser uma emulsão betuminosa, modificada com polímeros quando é necessária maior elasticidade, um mástique betuminoso ou betume puro.

A Figura 4.3 ilustra alguns procedimentos de execução da selagem individual de fendas, os quais se descrevem sumariamente (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Caso não seja necessária a serragem da fenda, procede-se à limpeza do pavimento e da fenda, através de jatos de ar ou areia comprimida, que ajudam a secar a humidade existente e a remover as partículas quase soltas (imagens C e D da Figura 4.3);

- 3º. Se for necessária a serragem da fenda (espessura inferior a 1,5 cm), procede-se ao corte (imagem B da Figura 4.3) e posteriormente à limpeza dos detritos, conforme descrito no ponto anterior;
- 4º. Aplicação do selante, a frio ou a quente, no interior a fenda ou corte com recurso a pistola de projeção ou equipamento semelhante, e execução do remate com um rodo (imagem Eda Figura 4.3) ou equipamento semelhante; quando o selante é aplicado a quente as paredes da fenda devem ser aquecidas com recurso a jatos de ar quente e deve cumprir o estabelecido na norma EN 14188-1 (CEN, 2004);
- 5º. Espalhamento de agregado fino sobre o selante para garantir ao pavimento boas condições de aderência superficial e evitar que o selante adira aos pneus (imagem F da Figura 4.3).

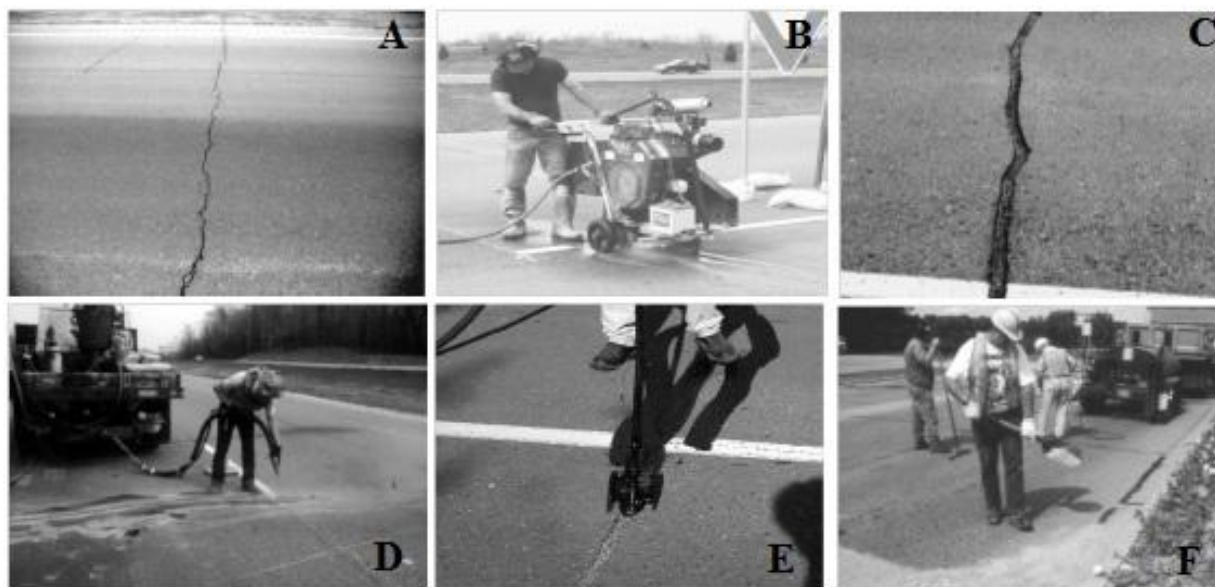


Figura 4.3 - Procedimentos inerentes à selagem individual de fendas (Transportation, 1999)

Como as fendas sofrem dilatação e contração consoante a estação do ano, devido às diferenças de temperatura, os trabalhos de selagem devem ocorrer na primavera ou no outono, à temperatura ambiente entre 7° e 18°, altura em que as fendas apresentam uma abertura intermédia entre a sua largura máxima (inverno) e largura mínima (verão), garantindo assim a correta aderência e penetração do selante (Figueiredo, 2011; Asphalt-Institute, 2009).

#### 4.2.3. Fresagem da camada de desgaste

A fresagem da camada de desgaste é uma técnica que permite corrigir degradações localizadas no pavimento, tais como os assentamentos, fendilhamento em malha, rodeiras, entre outros, através da remoção de camadas betuminosas superficiais.

Esta técnica que consiste na fresagem mecânica do pavimento até uma profundidade de 6 cm, podendo ser realizada uma segunda fresagem caso se verifique que a degradação é mais profunda (Figueiredo, 2011). Na Figura 4.4 é apresentado um esquema representativo da fresagem do pavimento.

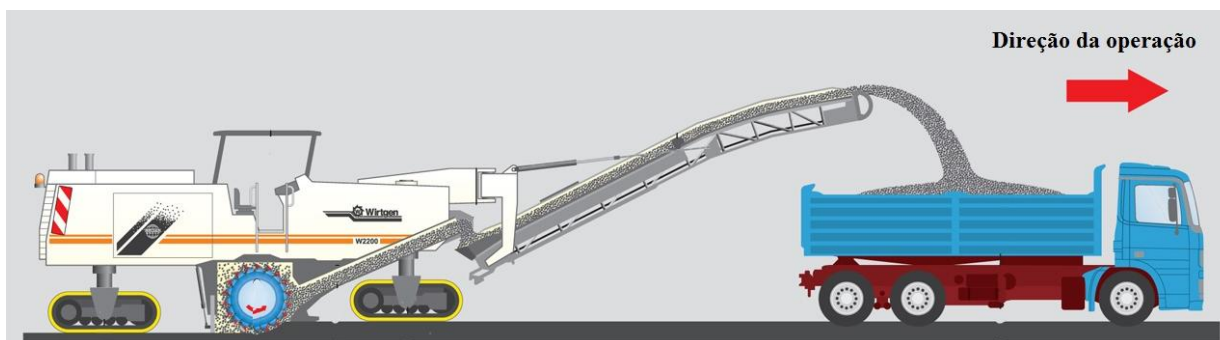


Figura 4.4 – Esquema representativo da fresagem de pavimentos (Wir14)

Os procedimentos inerentes à execução da fresagem de pavimentos, descrevem-se sumariamente de seguida (DER/PR, 2005):

- 1º. Delimitação das áreas de intervenção e colocação de sinalização de segurança;
- 2º. Definição rigorosa da profundidade de fresagem;
- 3º. Quando o material fresado tiver como destino a reciclagem, deve ser varrida a superfície do pavimento antes da fresagem;
- 4º. Remoção das camadas betuminosas com fresadora;
- 5º. Limpeza da superfície após a fresagem com recurso a vassoura, aspiradora ou jato de ar comprimido;
- 6º. Reposição da camada granular subjacente (se necessário) e/ou execução de camada adicional em betão betuminoso.

Durante a fresagem, os dentes da fresadora devem ser arrefecidos com jatos de água, jatos estes que também controlam a poeira libertada durante o processo. O material fresado que não seja alvo de reciclagem, deve ser transportado e colocado em local apropriado, por forma a não interferir com a área de trabalho e com o escoamento das águas pluviais.

#### 4.2.4. Abertura e tapamento de valas

A necessidade de construção de infraestruturas de distribuição de água, eletricidade, gás, telecomunicações, entre outros, origina a necessidade de abertura de valas para a passagem de novas condutas, ou reparação/substituição de condutas existentes, e posterior tapamento.

Este processo nem sempre é executado de maneira correta, levando à degradação dos pavimentos, originando, por exemplo, assentamentos e fendilhamento. Cada entidade executora/gestora de infraestruturas subterrâneas estabelece condições gerais de execução (geometria da vala, condições de segurança, altura máxima de aterro a compactar, entre outros), como é o caso das Câmaras Municipais através dos seus regulamentos. No entanto, os diferentes tipos de materiais a utilizar no aterro da vala e os parâmetros que influenciam a qualidade da compactação (velocidade de compactação, características de vibração do compactador, tipo de solo, teor em água, entre outros), são muitas vezes relegados para segundo plano ou mesmo ignorados, não obstante a importância daqueles parâmetros para a correta execução dos trabalhos.

A abertura das valas é o primeiro passo para a correta reposição do pavimento. Na abertura de valas em pavimentos flexíveis o corte longitudinal ou transversal das camadas betuminosas,



deve ser executado com recurso a serras mecânicas ou equipamento específico para o efeito, para não danificar o restante pavimento. Os bordos do corte deve ser, de preferência, realizado obliquamente, para melhorar as condições de compactação e de ligação na reposição das camadas betuminosas, ou realizado com bordos verticais, conforme se ilustra na Figura 4.5. O corte e a remoção do pavimento betuminoso podem ser efetuados em simultâneo através da fresagem do pavimento.



Figura 4.5- Equipamento de corte e de corte e fresagem (direita) das camadas betuminosas (Abc14; Capitão, 2014)

Concluída a escavação da vala é necessário proceder à instalação da tubagem e ao aterro e tapamento da mesma. A norma NF P 98-331:2005 (SÉTRA/LCPC, 2005) estabelece os diferentes tipos de materiais a utilizar no preenchimento da vala, consoante a função de cada camada. Estes referem-se de seguida e ilustram-se na Figura 4.6.

No leito de assentamento, também designado por almofada de areia, com espessura superior a 10 cm, deve ser utilizado material arenoso ou granular, de granulometria 2/4 ou 4/6, e compactada com um grau de compactação igual a 87% do ensaio Proctor Normal.

Como material de envolvimento da tubagem deve ser utilizado material granular, de granulometria descontínua, com dimensão variável consoante o diâmetro do tubo. Assim, para  $\varnothing \leq 200$  mm a dimensão máxima do agregado deve ser de 22 mm e para  $\varnothing > 200$  mm a dimensão mínima do agregado deve ser de 22 mm. Estes materiais são obtidos por crivagem, sem finos, ideais para zonas com elevados níveis freáticos (permanentes ou temporários), pois são insensíveis à presença de água. O grau de compactação desta camada deverá ser igual a 90% do ensaio Proctor Normal (Capitão, 2014).

Como existe alguma dificuldade de compactação deste tipo de material, também devido ao facto de estar em redor da tubagem, em alternativa ao material granular pode ser utilizado material autocompactável (betão autocompactável), escavável a longo prazo, à base de ligante hidráulico, de baixa resistência ( $<0,7$  MPa ou no máximo 2MPa). Em solos permeáveis, a fluidez desta mistura consegue-se através da adição de uma elevada quantidade de água. Se não for possível a adição de água na mistura, a fluidez é obtida com a adição de adjuvantes (introdutores de ar ou superplastificantes). Através da adição de aceleradores de presa que promovam o rápido endurecimento da mistura, é possível trabalhar sobre a camada ao fim de 3 horas (Capitão, 2014).

De acordo com a referida norma francesa, podem considerar-se duas zonas de aterro na vala: a parte inferior e a parte superior. A função da parte inferior do aterro, compactado com um grau de compactação igual a 95% do ensaio Proctor Normal, em conjunto com a zona de envolvimento é evitar assentamentos, suportando os solos envolventes. A função da parte superior do aterro, ou camada de forma, compactado com um grau de compactação igual a 98,5% do ensaio Proctor Normal, é facilitar a compactação das camadas superiores (Capitão, 2014).

Para a construção do aterro da vala pode ser utilizado material autocompactável com as características acima descritas, ou material granular cuja dimensão máxima é função da largura da vala ( $D < 1/10$  da largura) e da espessura da camada ( $D < 1/5$  da espessura). Não é aconselhada a utilização do solo que resultou da escavação, uma vez que as suas características são variáveis que prejudicam as condições de compactação do aterro (Capitão, 2014).

As camadas estruturais e de desgaste construídas sobre a vala devem ter propriedades iguais às exigidas para o pavimento existente, por forma a fornecer o desempenho mecânico suficiente para resistir ao tráfego e restabelecer a impermeabilidade do pavimento.

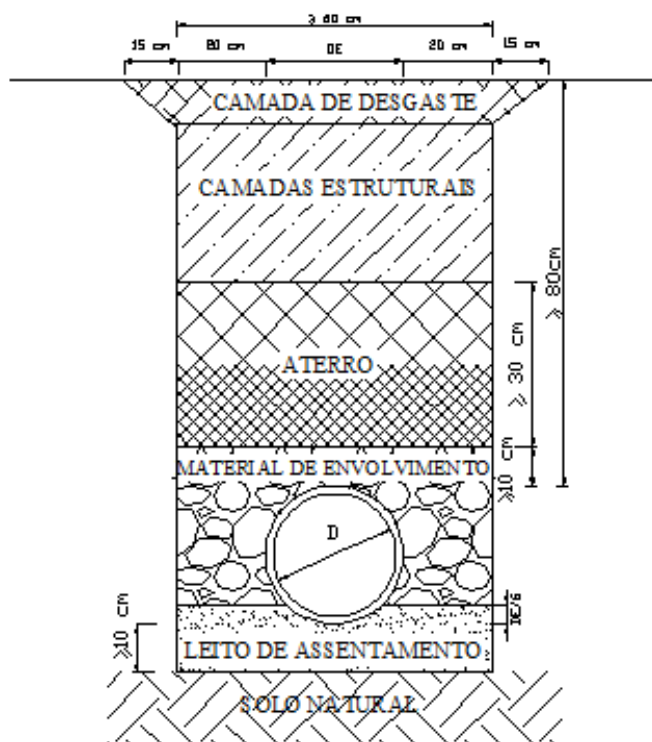


Figura 4.6 - Diferentes camadas de preenchimento das valas, adaptado de (SÉTRA/LCPC, 2005)

Os procedimentos inerentes à execução da abertura e tapamento de valas em pavimentos, descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011) e ilustram-se na Figura 4.7:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos e delimitação da área da vala, por exemplo com giz, com largura acrescida de 15 cm à largura da vala (imagem A da Figura 4.7);

- 2º. Corte do pavimento, com bordos oblíquos ou verticais, e remoção do pavimento betuminoso, ou fresagem deste (imagem B da Figura 4.7);
- 3º. Escavação até à profundidade pretendida com paredes verticais, com recurso a valadoras, ou retroescavadoras ou giratória de rastos (imagem C da Figura 4.7);
- 4º. Colocação de entivação nas paredes da vala para profundidades superiores a 1,2 m (ou em função da estabilidade do terreno);
- 5º. Regularização do fundo da vala e execução de almofada de areia, com espessura mínima de 10cm (imagem D da Figura 4.7), colocação da tubagem e envolvimento desta com material de envolvimento;
- 6º. Execução do aterro com material granular, compactado em camadas de 20cm ou betão autocompactável, que compacta sob ação do próprio peso, permite trabalhar na presença de alguma água, tem risco mínimo de assentamentos e permite enchimento de valas estreitas e congestionadas com infraestruturas, até à cota das camadas estruturais (imagem E da Figura 4.7);
- 7º. Execução das camadas estruturais com as mesmas características do pavimento existente e compactação, até à cota da camada de desgaste (imagem E da Figura 4.7);
- 8º. Aplicação de rega de impregnação sobre a superfície da camadas estrutural se granular, ou execução de rega de colagem sobre uma cada camada betuminosa antes da construção da seguinte;
- 9º. Execução da camada de desgaste com as mesmas características do pavimento existente e compactação (imagem F da Figura 4.7).

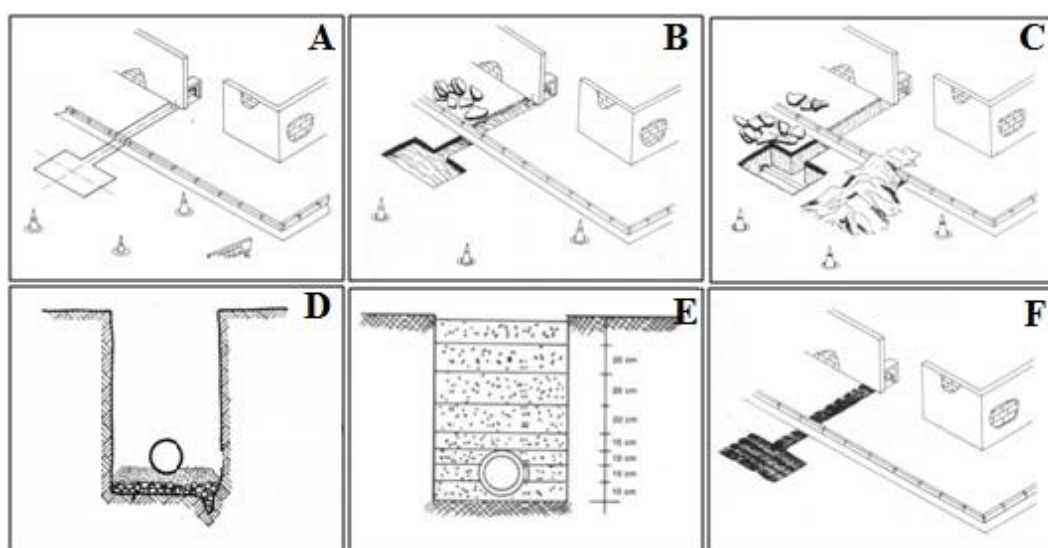


Figura 4.7 - Procedimentos de abertura e tapamento de valas em pavimentos flexíveis (Stuchi, 2005)

### 4.3. Conservação Contínua das Características Superficiais de Pavimentos Flexíveis

Nas técnicas de conservação das características superficiais, particularmente úteis para estradas de gestão municipal, incluem-se os revestimentos superficiais betuminosos, o microaglomerado betuminoso a frio, a lama asfáltica, a membrana de proteção, o microbetão rugoso, a argamassa betuminosa e o betão betuminoso drenante, os quais irão descrever-se nos títulos seguintes.

Existem ainda as regas que não sendo técnicas de conservação contribuem para o bom desempenho das técnicas já referidas. As regas podem ser de impregnação, colagem ou cura. A rega de colagem usa-se normalmente para assegurar a ligação e um funcionamento conjunto das camadas betuminosas do pavimento, consistindo na aplicação de um ligante betuminoso sobre a superfície, sendo o ligante, normalmente, uma emulsão catiónica de rotura rápida e de baixa viscosidade do tipo C 60 BP 4 (ECR-1mod) (Figueiredo, 2011).

A **rega de impregnação** consiste na aplicação de uma emulsão catiónica de impregnação do tipo C 50 BF 5 (ECI) ou C 60 BF 5 (ECL-1), sobre uma camada de material granular para a sua impermeabilização e estabilização superficial (Figueiredo, 2011).

A **rega de cura** é usada para evitar a evaporação prematura da água, de modo a facilitar o processo de cura de materiais que incorporam ligantes hidráulicos. Consiste na aplicação de uma película de emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida e de baixa viscosidade do tipo C 60 B 4 (ECR-1), sobre uma camada tratada com ligante hidráulico (Figueiredo, 2011).

#### 4.3.1. Revestimentos superficiais betuminosos

Um revestimento superficial consiste numa ou mais operações de espalhamento de um ligante betuminoso sobre uma superfície, seguido de uma ou mais operações de espalhamento de agregado, com a finalidade de melhorar principalmente as características superficiais do pavimento. É habitual considerar que esta técnica apresenta a melhor relação benefício/custo para reabilitar as características de impermeabilidade e/ou de rugosidade de camada de desgaste. Os revestimentos melhoram ainda as características antiderrapantes, reduzem as projeções de água dos pneus em tempo chuvoso e impedem a entrada de água no pavimento, melhorando a sua capacidade de suporte (Figueiredo, 2011).

Nas suas diversas formas, os revestimentos superficiais têm várias designações: revestimento superficial simples, revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado, revestimento superficial duplo e revestimento superficial simples com aplicação prévia do agregado. Este último também é designado por revestimento superficial *sandwich* ou inverso. A constituição e o aspeto da superfície dos vários tipos de revestimentos superficiais estão representados na Figura 4.8.

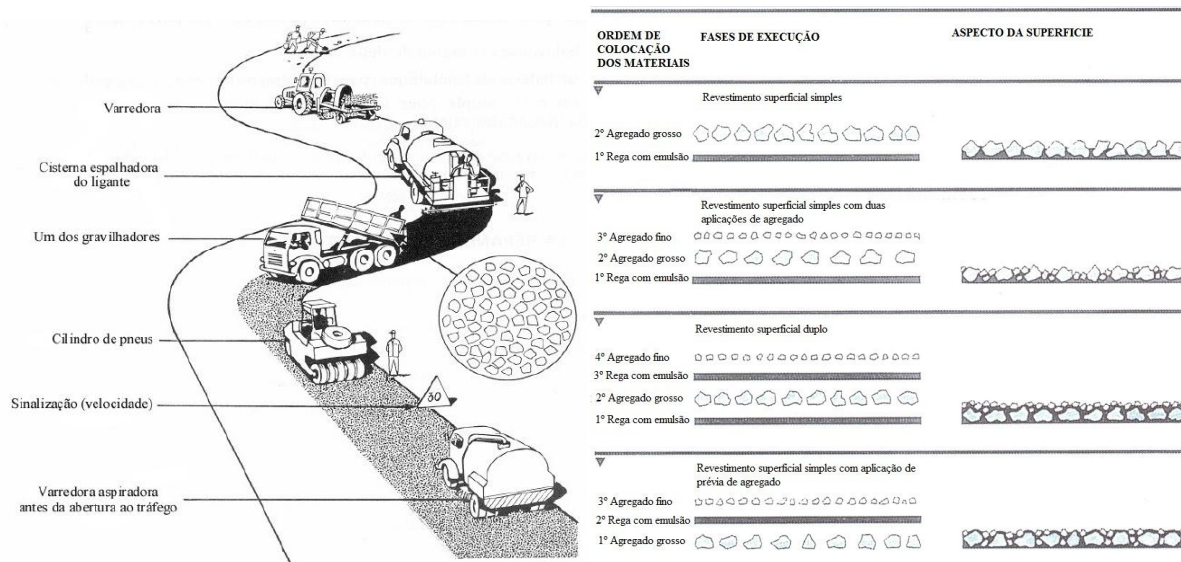


Figura 4.8 – Execução de um revestimento superficial simples (esquerda), constituição e textura superficial dos revestimentos superficiais (direita) (Picado dos Santos, 2011; Figueiredo, 2011)

A maior parcela constituinte dos revestimentos superficiais é a dos agregados. Estes devem ser de boa qualidade e deverão apresentar uma grande resistência mecânica, devendo possuir dimensões homogêneas, com a forma o mais cúbica possível, para aumentarem a rugosidade do pavimento (Ascenso, 2011).

As emulsões mais utilizadas na técnica de revestimentos superficiais são as emulsões de natureza catiónica de rotura rápida, pois a carga das partículas de betume é positiva, e a rotura é rápida, ou seja, a separação irreversível das fases constituintes (água e betume) acontece rapidamente, o que faz com que a interrupção do tráfego seja menos demorada. A emulsão deve ter elevada viscosidade, um teor de ligante alto, e boa adesividade aos agregados. É normal recorrer-se a emulsões com ligantes modificados sempre que o tráfego e/ou as condições climáticas sejam mais exigentes (Figueiredo, 2011).

A norma CSN EN 12271 (CEN, 2006) descreve os requisitos de desempenho e os procedimentos de controlo na execução dos revestimentos superficiais. Existem condicionantes na execução dos revestimentos superficiais. Não devem ser executados na presença de água, o espalhamento do agregado deve ser homogêneo e a temperatura ambiente deve ser sempre superior a 10°C e adequada ao tipo de ligante utilizado.

Os revestimentos superficiais apresentam algumas vantagens, tais como alta flexibilidade, adaptação a grandes deformações, baixo custo, rapidez de execução, excelente aderência pavimento/pneu e elevada durabilidade. No entanto são suscetíveis ao aparecimento de patologias em idade jovem (rejeição dos agregados, penteado ou peignage, peladas e exsudação) devido à posição e condições de funcionamento dos pulverizadores da emulsão que pode provocar discontinuidades no espalhamento da mesma (Figueiredo, 2011).

Os revestimentos superficiais são compostos por agregados e emulsões betuminosas, a dimensão dos agregados e a quantidade dos agregados e ligante é variável consoante o tipo de revestimento. Na Tabela 4.2. apresenta-se uma síntese da dimensão dos agregados e das taxas de espalhamento dos constituintes de revestimentos superficiais.

Tabela 4.2- Características dos agregados e taxa de aplicação do agregado e ligante (Figueiredo, 2011)

| Tipo de revestimento                     | Granulometria | Agregado (l/m <sup>2</sup> ) | Taxa de aplicação                      |               |
|--|---------------|------------------------------|--|---------------|
|  |               |                              | Ligante Residual (kg/ m <sup>2</sup> ) |               |
|  |               |                              | (EP, 2009)                             | (USIRF, 2006) |
| Simples                                  | 4/6           | 6 a 7                        | 0,9                                    | 1,3           |
|  | 6/10          | 8 a 9                        | 1,2                                    | 1,75          |
|  | 10/14         | 11 a 13                      | 1,5                                    | 2,15          |
| Simples com duas aplicações de agregado  | 6/10 - 2/4    | 6 a 7 - 3 a 4                | 1,2                                    | 1,75          |
|  | 10/14 - 4/6   | 8 a 9 - 4 a 5                | 1,5                                    | 2,15          |
| Duplo                                    | 6/10 - 2/4    | 7 a 8 - 4 a 5                | 0,7 +0,9                               | 1+1,3         |
|  | 10/14 - 4/6   | 10 a 11 - 6 a 7              | 0,9 +1,0                               | 1,1+1,4       |
| Simples com aplicação prévia do agregado | 6/10 - 2/4    | 7 a 8 - 4 a 5                | não especificado                       | 1,75          |
|  | 10/14 - 4/6   | 10 a 11 - 6 a 7              |  | 2,1           |

De seguida apresentam-se, sumariamente, a descrição e os procedimentos de execução dos diferentes tipos de revestimentos superficiais.

#### ▪ Revestimento superficial simples

**Descrição:** revestimento superficial do pavimento que consiste na aplicação de ligante betuminoso e camada de agregado granular de pequenas dimensões.

**Aplicação:** Em vias de baixo tráfego (TMDA-Tráfego Médio Diário Anual  $\leq 300$ ), pois tem baixa resistência a esforços tangenciais e o pavimento existente não pode apresentar grandes deformações (Figueiredo,2011)

**Procedimentos de execução** (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jacto de ar;
- 3º. Aplicação da emulsão betuminosa;
- 4º. Espalhamento do agregado;
- 5º. Compactação com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado.

#### ▪ Revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado

**Descrição:** Revestimento superficial do pavimento que consiste na aplicação de ligante betuminoso, camada de agregado granular grosso e camada de agregado granular fino.

**Aplicação:** Em vias de tráfego intenso, rápido e pesado, tem boas condições de aderência e drenagem superficial elevada (Figueiredo,2011).

**Procedimentos de execução** (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jacto de ar;



- 3º. Aplicação da emulsão betuminosa;
- 4º. Espalhamento do agregado grosso;
- 5º. Compactação com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado;
- 6º. Espalhamento do agregado fino;
- 7º. Compactação com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado.

#### ▪ **Revestimento superficial duplo**

**Descrição:** Revestimento superficial do pavimento que consiste na aplicação dupla de ligante betuminoso, camada de agregado granular grosso e camada de agregado granular fino.

**Aplicação:** Vias de tráfego intenso e rápido, com suporte heterogéneo e permeável e com patologias de grandes dimensões, após reparação (Figueiredo, 2011).

**Procedimentos de execução** (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Primeira aplicação da emulsão betuminosa;
- 4º. Espalhamento do agregado grosso;
- 5º. Compactação com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado;
- 6º. Segunda aplicação da emulsão betuminosa;
- 7º. Espalhamento do agregado fino;
- 8º. Compactação com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado.

#### ▪ **Revestimento superficial simples com aplicação prévia de agregado**

**Descrição:** Revestimento superficial do pavimento que consiste na aplicação prévia de agregado grosso, aplicação de ligante betuminoso e espalhamento de camada de agregado granular fino.

**Aplicação:** Em pavimentos com exsudação.

**Procedimentos de execução** (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Espalhamento do agregado grosso;
- 4º. Aplicação da emulsão betuminosa;
- 5º. Espalhamento do agregado fino;
- 6º. Compactação com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado.

#### **4.3.2. Microaglomerado betuminoso a frio ou “Macro-seal”**

O microaglomerado betuminoso a frio é uma mistura betuminosa especial densa fabricada à temperatura ambiente, rugosa e impermeável, composta por emulsão betuminosa de rotura lenta ou controlada, agregado fino bem graduado, filler (cimento ou cal hidratada), aditivos para controlar a rotura da emulsão e água para conferir trabalhabilidade, nas proporções certas.



Tem consistência adequada para aplicação contínua e imediata colocação em obra. Adequado para pavimentos com fendilhamento ligeiro, envelhecimento superficial ou com falta de ligante, peladas e desprendimento e polimento de agregados (Carvalho & Colas, 2013; Seixas, 2006). Este tipo de revestimento é aplicado como camada selante, impermeabilizante e antiderrapante. É uma técnica de elevado rendimento e de custo reduzido. Pode ser aplicado em meio urbano, pois praticamente não aumenta a espessura do pavimento, ou aumenta pouco, e pode contribuir para uma diminuição do ruído (Figueiredo, 2011).

É uma alternativa eficiente, económica e ambientalmente atrativa, para a realização de ações de conservação, assim como para a melhoria das características superficiais requeridas nos pavimentos, sendo utilizado em tratamentos superficiais de melhoria das características superficiais (textura superficial e resistência ao deslizamento) de pequena espessura (normalmente  $\leq 1,5$  cm), numa ou duas camadas. Estes materiais têm uma consistência relativamente fluida, o que permite um fácil espalhamento sobre a superfície dos pavimentos. No entanto, ao endurecerem, a sua coesão e dureza aumentam, proporcionando uma superfície resistente à ação abrasiva do tráfego (Carvalho & Colas, 2013).

As normas EN 12273 e EN12274 (CEN, 2008; CEN, 2005) contêm os requisitos e métodos de ensaio para o microaglomerado betuminoso a frio. Os procedimentos inerentes à aplicação do microaglomerado betuminoso a frio, descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011), e na Figura 4.9 ilustra-se a aplicação do microaglomerado betuminoso e o seu aspeto final:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Se necessário fresagem nas zonas mais degradadas e fendilhadas e reposição da camada betuminosa fresada;
- 4º. Espalhamento da mistura.



Figura 4.9 - Aplicação e aspeto final do microaglomerado betuminoso a frio (Seixas, 2006)

Existem alguns cuidados a ter aquando do espalhamento do microaglomerado. Quando a mistura é aplicada por faixas longitudinais, deve estabelecer-se uma sobreposição de 10 cm entre faixas contíguas. No caso de tratamentos duplos, as zonas de sobreposição da primeira aplicação não devem coincidir com as da segunda. O espalhamento deve ser feito de forma contínua, homogénea, de modo a que a superfície apresente uma textura regular, uniforme e sem segregações, e deve aguardar-se a rotura da emulsão para abrir a via ao tráfego, limitando a velocidade a 50km/h (Carvalho, 2011; Figueiredo, 2011).

### 4.3.3. Lama asfáltica ou “Slurry-seal”

A lama asfáltica é uma mistura betuminosa constituída por agregados finos (grande percentagem de agregados com dimensões inferiores a 2 mm) e emulsão betuminosa, colocada em camada com espessura não superior a 2 cm. É um tratamento superficial utilizado como uma ação preventiva e corretiva em pavimentos rodoviários. Não pode ser entendido como um reforço estrutural do pavimento, mas protege e prolonga a vida útil do pavimento porque reduz a penetração de água para as camadas inferiores. Esta técnica pode ser utilizada em colmatagem de fendas e impermeabilização do pavimento, e sob uma interface antifendas antes da execução de uma camada de reforço (Picado dos Santos, 2011; Ascenso, 2011; Figueiredo, 2011).

As normas EN 12273 e EN12274 (CEN, 2008; CEN, 2005) contêm os requisitos e métodos de ensaio para a lama asfáltica.

Os procedimentos inerentes à aplicação da lama asfáltica, descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011) e na Figura 4.10. ilustra-se a aplicação da lama asfáltica e algumas características desta:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Rega de colagem, para conferir maior aderência;
- 4º. Espalhamento da mistura.



Figura 4.10 – Aplicação e aspeto final da lama asfáltica (Dpw.lacounty)

Existem alguns cuidados a ter durante o espalhamento da lama asfáltica. Deve aguardar-se o tempo de rotura da emulsão, antes da abertura ao tráfego, não é aconselhada a aplicação com chuva ou com humidade no pavimento, pois pode dar-se a desagregação da mistura. Também não deve aplicar-se lama asfáltica sobre superfícies com deformação estrutural ou com fendilhamento do tipo pele de crocodilo, nem utilizar-se sobre pavimentos lisos (ou polidos) ou em vias com tráfego intenso (Bras14).

Esta técnica tem um rendimento elevado, atendendo à facilidade de espalhamento da mistura. No entanto reduz a macrotextura e a microtextura do pavimento, diminuindo a aderência, principalmente em piso molhado (Branco et al, 2011).

### 4.3.4. Membrana de Proteção ou “Fog-seal”

A membrana de proteção é uma emulsão betuminosa catiónica, de rotura rápida e de baixa viscosidade, aplicada para melhorar as ligações das partículas à camada de suporte, sobre a camada de desgaste. O uso justifica-se quando se pretende impermeabilizar a camada de

desgaste, melhorar a ligação das partículas de agregado ao suporte e a homogeneidade da superfície do pavimento, aumentar a visibilidade da marcação rodoviária e rejuvenescer a superfície do pavimento em vias de baixo tráfego (CDM, 2003; Figueiredo, 2011).

Na Figura 4.11 ilustra-se um esquema que demonstra a aplicação da emulsão e o seu aspeto final.

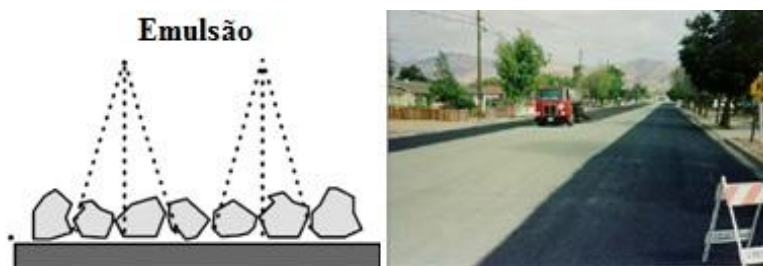


Figura 4.11 – Esquema e aspeto de aplicação da membrana de proteção (CDM, 2003)

Os procedimentos inerentes à aplicação da membrana de proteção descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Aplicação da emulsão betuminosa;
- 4º. Limpeza da área intervencionada, com vassoura mecânica ou jato de ar.

Existem alguns cuidados a ter aquando da aplicação da membrana de proteção: a sua distribuição deve ser uniforme, sem falhas ou sobreposições, deve aguardar-se o tempo de rotura da emulsão, entre 4 a 6 horas, antes da abertura ao tráfego; deve ser aplicada sobre uma camada de desgaste estável. Trata-se de uma técnica de baixo custo mas a aplicação excessiva de emulsão pode originar um filme betuminoso inadequado que reduz a aderência entre o pneu e o pavimento (Pav14).

#### 4.3.5. Microbetão betuminoso rugoso ou AC 10 surf ligante (mBBR)

O microbetão betuminoso rugoso é uma mistura betuminosa a quente composta por ligante hidrocarbonado (cerca de 5%), agregados (granulometria 0/10, com descontinuidade na fração 2/6), fíler, polímeros e aditivos, fabricada de modo a que todas as partículas de agregado sejam cobertas com uma película de ligante. O seu processo de fabrico implica o aquecimento do ligante e dos agregados, e a sua aplicação em obra é realizada a temperaturas típicas das misturas betuminosas a quente, significativamente superiores à temperatura ambiente (Sanestradas).

É aplicado em vias de tráfego elevado e rápido com adequada capacidade estrutural, para melhorar as características de regularidade e aumentar a aderência, ou seja a reposição da textura superficial, com espessura entre os 2,5cm e os 3,5 cm (Figueiredo, 2011).

As características desta mistura betuminosa estão descritas na norma NP EN 13108-1:2006 (IPQ, 2006). Os procedimentos inerentes à aplicação do microbetão betuminoso rugoso descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Aplicação de rega de colagem;
- 4º. Espalhamento da mistura;
- 5º. Compactação da camada.

Trata-se de uma mistura betuminosa de alta durabilidade, que em alguns casos promove a diminuição do ruído, de baixo custo e rápida execução. No entanto, confere baixa impermeabilização pois tem granulometria descontínua (a sobredosagem da rega de colagem pode ser uma medida para atenuar este problema). Não deve ser executada com temperatura ambiente inferior a 10°C, nem na presença de chuva (Barreto, 2013; Figueiredo, 2011; Pav14).

#### **4.3.6. Argamassa betuminosa ou AC 4 surf ligante (AB)**

A argamassa betuminosa é uma mistura betuminosa a quente, composta por ligante hidrocarbonado, agregados, filler, polímeros e aditivos, fabricada de modo a que todas as partículas de agregado sejam cobertas com uma película de ligante, aplicada na recuperação da camada de desgaste e na reabilitação minimalista de características superficiais do pavimento, em vias com tráfego pouco severo e com fendilhamento generalizado do pavimento. Em geral utiliza-se argamassa betuminosa com betume modificado, sendo utilizada essencialmente para executar interfaces retardadoras do processo de propagação de fendas, sendo uma das técnicas mais utilizadas em Portugal com essa finalidade (Barreto, 2013; Figueiredo, 2011).

As características desta mistura betuminosa estão descritas na norma NP EN 13108-1:2006 (IPQ, 2006). Os procedimentos inerentes à argamassa betuminosa descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Aplicação de rega de colagem;
- 4º. Espalhamento da mistura;
- 5º. Compactação da camada.

É uma mistura com elevada deformabilidade e baixa capacidade de suporte e não devendo ser executada com temperatura ambiente inferior a 10°C, nem na presença de chuva (Figueiredo, 2011; Pav14).

#### **4.3.7. Betão betuminoso drenante ou *Porous Asphalt* (PA 12,5 ligante)**

O betão betuminoso drenante é uma mistura betuminosa aberta, com porosidade elevada (22% a 30%), de granulometria descontínua, com diâmetro nominal máximo do agregado de 14 mm (granulometria 0/10 ou 0,14), filler, polímeros e aditivos. É utilizado em camada de desgaste com cerca de 4 cm de espessura e permite que a drenagem da água da chuva ocorra no interior

da camada superficial, até às bermas ou sistemas de drenagem e não na superfície do pavimento, como é habitual. É ideal para vias com tráfego elevado e rápido, onde é mais propícia a ocorrência de fenómenos de hidroplanagem (Menezes, 2008). Na Figura 4.12 ilustra-se a aplicação do betão betuminoso drenante. Na imagem da direita é visível a diferença entre o pavimento betuminoso convencional e o drenante no que respeita à drenagem das águas pluviais.



Figura 4.12 – Aplicação e aspeto do betão betuminoso drenante (Pavi14; Ter14; Apa14)

Os procedimentos inerentes à aplicação do betão betuminoso drenante descrevem-se sumariamente de seguida (Figueiredo, 2011):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Aplicação de rega de colagem;
- 4º. Espalhamento da mistura;
- 5º. Compactação da camada.

Algumas das vantagens de utilização do PA são, por um lado, a menor resistência ao rolamento dos pneus, o que se traduz em economia de combustível, maior segurança a alta velocidade devido à aderência proporcionada, melhoria da regularidade transversal e redução do ruído. Por outro lado, tem menor resistência ao efeito abrasivo do tráfego, é propenso à colmatação dos vazios (perda de permeabilidade em 5 ou 6 anos), tem fraca durabilidade e não contribui para a impermeabilização das camadas inferiores do pavimento (Menezes, 2008).

O PA só deve ser aplicado em estradas inseridas em zonas onde não haja ocorrência de neve ou formação de gelo e com um regime de pluviosidade razoavelmente constante. Estas misturas não devem ser aplicadas sobre tabuleiros de obras de arte que não estejam devidamente impermeabilizados e, em qualquer caso, devem prever-se sistemas específicos de captação e eliminação de água infiltrada através do pavimento (Menezes, 2008).

#### 4.4. Técnicas Inovadoras de Conservação de Pavimentos Flexíveis

Nesta secção são apresentadas técnicas de conservação inovadoras, pouco ou nada utilizadas no nosso país, mas com alguma utilização no resto do mundo. A não utilização destas técnicas poderá dever-se ao custo inerentes às mesmas, inexistência de equipamento e mão de obra especializada que permita a sua execução, entre outros. Também aqui se faz a distinção entre técnicas de conservação parciais e contínuas.



#### 4.4.1. Conservação parcial

As reparações com recurso a painéis radiantes de infravermelhos e a projeção de mistura betuminosa, são dois métodos com custos reduzidos e elevado rendimento. São duas técnicas de conservação para reparações localizadas que podem ser uma boa opção para uma gestão viária de âmbito municipal.

##### ▪ Reparação localizada com painéis radiantes de infravermelhos

Um dos métodos de conservação inovadores é o recurso a painéis radiantes de infravermelhos, para a realização de reparações localizadas e reparação de zonas fendilhadas. É uma técnica que necessita de pouca mão de obra e é de rápida execução, tornando-se uma opção mais barata relativamente à reparação tradicional. O painel radiante de infravermelhos, portátil ou acoplado a um veículo, aquece o pavimento betuminoso em profundidade, desde 5cm até 12cm. A camada betuminosa absorve os infravermelhos através do processo de transferência de calor por radiação e esta absorção produz calor, que amolece a camada. É necessário colocar corretamente do painel sobre a área a reparar para efetuar a reparação sem existência de juntas. Esta técnica permite misturar novos materiais com os existentes (Ray14).

Esta técnica não é utilizada em Portugal, embora se conheçam bastantes casos de aplicação nos Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, França, entre outros. Nestes países existem empresas especializadas na execução deste método de conservação, atendendo às vantagens associadas, designadamente (Pot14):

- Mais rápido, menor necessidade de mão de obra e mais económico (1/3 do custo da reparação tradicional);
- Execução a baixas temperaturas, e até na presença de água, devido ao aquecimento, podendo ser executado quase todos os dias do ano;
- Inexistência de juntas;
- Procedimento ambientalmente mais correto.

Os procedimentos de execução da reparação com recurso a infravermelhos enumeram-se de seguida e ilustram-se na Figura 4.13 (Ray14):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Colocação do painel radiante sobre a área a reparar, com afastamento de 30 cm (linha amarela na imagem D da Figura 4.13, em torno desta e paralelo ao pavimento, aproximadamente 10 cm acima deste (imagem B da Figura 4.13));
- 3º. Aquecimento do pavimento durante 8 a 10 minutos até à profundidade de 5 a 12 cm, sem que o material seja queimado (imagem C da Figura 4.13);
- 4º. O painel é elevado ou deslocado, para verificar se o pavimento já atingiu a temperatura necessária, facto verificado quando a camada betuminosa for facilmente remexida com um gadanho (imagem E e F da Figura 4.13);
- 5º. Após a remoção do painel radiante, remodela-se o forma
- 6º.
- 7º. to da cova e escarifica-se o pavimento, com um gadanho ou uma pá e verifica-se o estado do material betuminoso existente (imagem G da Figura 4.13)

- 8º. Se o material betuminoso apresentar sinais de envelhecimento o mesmo deve ser removido, no entanto na maior parte das vezes este mantém-se e adiciona-se rejuvenescedor (emulsão que adiciona as componentes voláteis perdidas na oxidação do ligante) e a necessária mistura betuminosa a quente para preencher a totalidade da cova;
- 9º. Após o espalhamento da mistura e enquanto esta ainda estiver quente, procede-se à compactação do pavimento enquanto este ainda estiver quente e perpendicularmente ao sentido do tráfego, começando nos bordos de ligação (imagem H da Figura 4.13);
- 10º. Concluída a compactação o material betuminoso reparado está completamente ligado ao existente.



Figura 4.13 - Procedimentos de reparação localizada com infravermelhos (Ray14)

#### ▪ Reparação localizada com projeção de mistura betuminosa ou JetPatcher

A projeção de mistura betuminosa é outra técnica de conservação inovadora, não divulgada em Portugal, mas muito utilizada em Inglaterra. Esta técnica consiste na limpeza da área a tratar através de jatos de ar, aplicação do selante e distribuição da mistura betuminosa, composta por 90% de agregados com dimensão de 2 a 10 mm, 5% de areia (com 60% a 65% de betume) e 5% de emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida, em jatos a alta velocidade (de 80 a 100 km/h), proporcionando camadas finas que por impacto são compactadas de baixo para cima, em toda a espessura colocada (Jet14).



Pode ser utilizada na reparação de rodeiras, abatimentos, deformações localizadas, bermas danificadas, ninhos ou covas, e tapamento de valas.

A sua execução em condições favoráveis, ou seja, sem a presença de água ou gelo, proporciona um rendimento muito elevado (centenas de reparações localizadas por semana), é uma técnica muito utilizada para reparar estradas de baixo tráfego ou rurais, com ninhos ou covas em elevado número e muito próximos (New14).

De acordo com o fabricante do equipamento JetPatcher, uma reparação tradicional demora cerca de 45 minutos a executar. Com esta técnica o tempo de execução é reduzido para 10 minutos, havendo poupança de tempo, material, mão de obra e uma menor interrupção de tráfego, o que reduz os custos associados até 50%. A via pode entrar em funcionamento 20 minutos depois, se a área de intervenção não ultrapassar os 2m<sup>2</sup>, e desde 1 a 2 horas (em dia quente e ventoso) até 2 a 4 horas (em dia frio) (Jet14).

O equipamento necessário encontra-se montado num camião semelhante ao apresentado na Figura 4.14. É composto essencialmente por um depósito para a emulsão (de 1000 a 2000 litros), tremonha para os agregados, tanque de água pressurizado com capacidade de 90 litros e mangueira de aplicação com agulheta de alumínio, entre outros (Jetp14).



Figura 4.14 - Ilustração do equipamento JetPatcher (Jetp14)

Este processo desenvolve-se em quatro fases distintas, ilustradas na Figura 4.15, que se descrevem de seguida (Jetp14):

- 1º. Através do jato de ar efetua-se a limpeza do material solto existente na área a reparar;
- 2º. Aplica-se o material selante projetando-o sobre a totalidade da área a alta velocidade, assegurando a penetração deste em profundidade nas fendas existentes em redor, evitando a propagação destas e impermeabilizando a superfície;
- 3º. Projeção da mistura betuminosa, composta por agregados e emulsão betuminosa (à temperatura de 40°C), com velocidade até 100 km/h que assegura a devida compactação de baixo para cima; o camião possui dois depósitos separados para os agregados e emulsão betuminosa, os quais são conduzidos até à agulheta por dois tubos, sendo produzida aqui a mistura dos componentes;
- 4º. Após a selagem e preenchimento da área com a mistura é aplicada uma camada fina de agregado ou areia, para evitar a aderência da mistura aos pneus dos veículos, antes da cura desta.

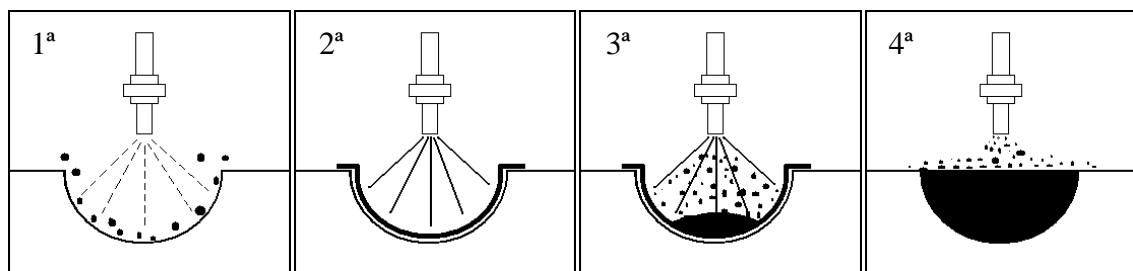


Figura 4.15 – Procedimentos de reparação de uma cova com projeção de mistura betuminosa (Jetp14)

As vantagens da utilização deste método são as seguintes (Pot14):

- Mais rápido, económico e eficiente;
- Menos mão de obra (apenas o condutor do camião e o operador do equipamento);
- A reparação é mais duradoura porque a camada é executada da base para o topo;
- Proporciona um trabalho mais limpo, pois não há desperdício de material.

#### 4.4.2. Conservação Contínua

Nas técnicas inovadoras de conservação contínua descrevem-se as camadas betuminosas finas e ultra finas, a camada betuminosa com betume modificado com alta percentagem de granulado de borracha (BMBAP) e o revestimento betuminoso semitemperado.

##### ▪ Camadas betuminosas finas e ultra finas

Há bastantes anos que as camadas betuminosas finas, ou TAL (*Thin Asphalt Layers*), são utilizadas, com resultados demonstrados quanto ao seu custo efetivo, rapidez de execução, boas características superficiais (aderência), redução do ruído e durabilidade, quando aplicadas sobre pavimentos com estabilidade e capacidade estrutural, em vias de baixo tráfego e velocidade reduzida (Sandberg et al, 2010).

São misturas betuminosas a quente, aplicadas para renovação das camadas superficiais de pavimentos com estabilidade estrutural, com espessuras entre os 10 e 30 mm (após compactação), compostas por agregados, com dimensão de 4mm a 12mm, betume modificado com polímeros, e adição de fibras ou granulado de borracha, entre outros, com elevada percentagem de vazios preenchidos pelo betume, de acordo com o estabelecido na norma EN 13108-2 (BS, 2006; Sandberg et al, 2010).

As misturas do tipo SMA (*Stone Mastic Asphalt*), designadamente as SMA 4, SMA 4+8, SMA 6+8, são misturas de betume modificado por polímeros, fibras de celulose e ligante (em percentagens de 6,5 a 7,1 %), com agregado de dimensões de 4 a 8 mm (entre 70 e 80%), podendo ser consideradas camadas betuminosas finas, uma vez que permitem espessuras finais até 30 mm (Sandberg, et al., 2010).

Os pavimentos AC-TL/BBTM – betão betuminoso camadas delgadas e AC-VTL - betão betuminoso camadas muito delgadas, são outros exemplos de camadas betuminosas finas que podem ser utilizadas como técnica de conservação de pavimentos. As camadas betuminosas ultra finas, também são misturas betuminosas a quente, com espessuras de 10 a 20mm (após

compactação), a sua composição está descrita na norma EN 13108-9 (Sandberg et al, 2010; CEN-9, 2006).

A aplicação ou execução deste tipo de camadas betuminosas é em tudo semelhante à das camadas betuminosas tradicionais a quente. No entanto, atendendo à reduzida espessura destas, o equipamento e mão de obra devem ser especializados para assegurar a qualidade necessária na execução das mesmas, o que encarece significativamente o procedimento, não sendo prática corrente a sua utilização no nosso país.

As principais vantagens deste tipo de camadas quando aplicados sobre pavimentos estáveis são (Nikolaides A. , 2008);

- Menor quantidade de material e execução mais rápida;
- Boas características superficiais (aderência e profundidade média da textura);
- Boa capacidade de drenagem superficial;
- Resistência ao aparecimento de rodeiras de pequeno raio;
- Redução do ruído.

Algumas desvantagens associadas a estas técnicas são (Sandberg et al, 2010):

- A sua aplicação está condicionada a temperaturas do ar relativamente elevadas e à inexistência de vento, para que o arrefecimento da mistura não seja muito rápido e permita a compactação;
- Suscetível ao fendilhamento se as camadas inferiores apresentarem deficiências.

#### ▪ **Camada betuminosa com betume modificado com alta percentagem de granulado de borracha (BMBAP)**

A adição de borracha proveniente da reciclagem de pneus a betumes convencionais, com vista a aumentar a viscosidade do ligante, para posterior utilização no fabrico de misturas betuminosas, tem sido uma técnica bastante utilizada em Portugal para aplicação em camadas de pavimentos novos e de obras de reabilitação de pavimentos flexíveis, podendo ser uma boa opção como técnica de conservação de pavimentos.

A utilização de BMBAP no fabrico de misturas betuminosas tem-se apresentado, nos últimos anos, como uma solução viável e particularmente interessante para a resolução de diversos problemas nos pavimentos, uma vez que contribui, de uma forma geral, para um aumento da resistência à fadiga, diminuição da suscetibilidade à temperatura, diminuição da sensibilidade ao envelhecimento, melhor capacidade drenante e diminuição do ruído, relativamente às misturas betuminosas convencionais (Miranda, 2008).

O betume modificado com alta percentagem de borracha reciclada de pneus pode ser obtido a partir da modificação por via húmida ou por via seca. No primeiro caso, o mais divulgado, a um betume base de penetração nominal 35/50 ou 50/70, adicionando-se-lhe granulado de borracha numa quantidade que pode variar entre 18% e 22% em massa (sobre a massa total do ligante modificado). É produzido aquando do fabrico das misturas betuminosas em obra, pelo que não é estável ao armazenamento. O sistema de fabrico destes ligantes produzidos em obra

deve cumprir as especificações particulares estabelecidas pelo produtor para o processo construtivo (Ribeiro, 2012).

O Despacho n.º 4015/2007, publicado em diário da república, 2ª série, de 2 de março de 2007, determina que os organismos públicos responsáveis pela contratação de empreitadas de manutenção de infraestruturas rodoviárias, como é o caso dos municípios, devem prever, nos cadernos de encargos, a utilização, em pavimentos, de misturas betuminosas com incorporação de betumes modificados com borracha provenientes da reciclagem de pneus em fim de vida.

Existem dois tipos de misturas betuminosas com BMB: a rugosa (MBR-BMB) e a aberta (MBA-BMB). A rugosa incorpora 8 a 9% de BMB em relação ao peso total da mistura e a aberta, 9 a 10 %. A rugosa é constituída por agregados com uma dimensão nominal de 12,5 mm e a aberta com 10,0 mm. Tal como o nome indica a aberta apresenta uma curva granulométrica com uma maior descontinuidade do que a rugosa. Esta última apresenta porosidades da ordem dos 5-6% e a aberta de 10-15%. Em termos estruturais, a mistura rugosa apresenta um módulo de deformabilidade (20°C, 10 Hz) de cerca de 4000 MPa e a aberta de aproximadamente 2000 MPa, com teores volumétricos em betume (Vb) de 17,5 e 19,2% respetivamente (Recipav, 2007).

No processo húmido ou via húmida de fabrico da mistura betuminosa, o granulado de borracha é adicionado ao betume convencional previamente aquecido a temperaturas entre 160°C e 220°C, com um tempo de interação de uma a quatro horas. A mistura de betume e de borracha permanece na cisterna durante um período mínimo de 30 minutos e máximo de 150 minutos e os agregados, com dimensão máxima de 12,5mm, são aquecidos e adicionados à posteriori. As etapas deste processo apresentam-se na Figura 4.16.

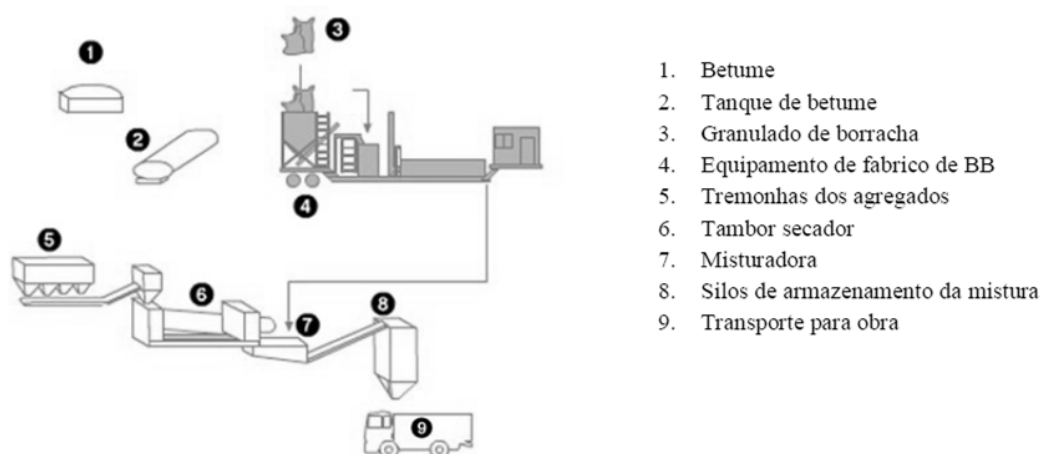


Figura 4.16 - Etapas do fabrico de mistura betuminosa com BMBAP, processo húmido (Rodrigues, 2012)

O uso preferencial destas misturas faz-se em situações de envelhecimento do pavimento, com fendilhamento considerável, ou para melhorar as características superficiais em termos de atrito e/ou ruído de circulação (Ribeiro, 2012).

A aplicação deste tipo de mistura betuminosa, com temperatura ambiente superior a 10°C, é em tudo semelhante à de camadas betuminosas tradicionais a quente (Recipav, 2007):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Limpeza do pavimento, com vassoura mecânica ou jato de ar;
- 3º. Rega de colagem, para garantir a aderência, com betume modificado, devendo garantir-se, como mínimo, cerca de 400 a 500 g/m<sup>2</sup> de betume modificado residual;
- 4º. A mistura betuminosa deve ser colocada e acabada através de pavimentadoras de grande largura, trabalhando simultaneamente e em paralelo, para que seja abrangida toda a faixa de rodagem, sem necessidade de execução de juntas longitudinais de construção;
- 5º. Compactação da mistura betuminosa.

As principais vantagens da utilização de BMBAP são as seguintes (Ribeiro, 2012):

- Elevada resistência à propagação de fendas, à fadiga e deformação permanente;
- Elevada resistência ao envelhecimento, devido à elevada percentagem de ligante;
- Maior durabilidade, logo reduz o custo de manutenção dos pavimentos;
- Aumenta o atrito no contacto pneu/pavimento;
- Melhora a impermeabilidade do pavimento;
- Menor utilização de agregados e de subprodutos.

No entanto, é uma técnica com algumas desvantagens: custos de construção mais elevados, necessidade de produção a elevada temperatura, são muitas vezes difíceis de trabalhar por causa da maior viscosidade do betume, o ligante produzido pode não ser utilizável se a obra for adiada num período superior a 48 horas após a mistura do BMB, exige uma maior complexidade ao nível da central betuminosa devida à introdução de mais um material (borracha) e ao aumento da temperatura de funcionamento da central betuminosa (Ribeiro, 2012).

### ■ Misturas betuminosas temperadas e semitemperadas

A mistura betuminosa semitemperada é utilizada na manutenção/conservação de vias com tráfego baixo a moderado. A sua utilização visa a redução do consumo energético e de emissões de gases com efeito estufa, e também a redução de custos de produção, uma vez que a temperatura de fabrico se situa entre 80°C e 100°C, e a temperatura de colocação em obra ronda os 60°C. Na Figura 4.17 apresenta-se a classificação das misturas betuminosas em função da temperatura.

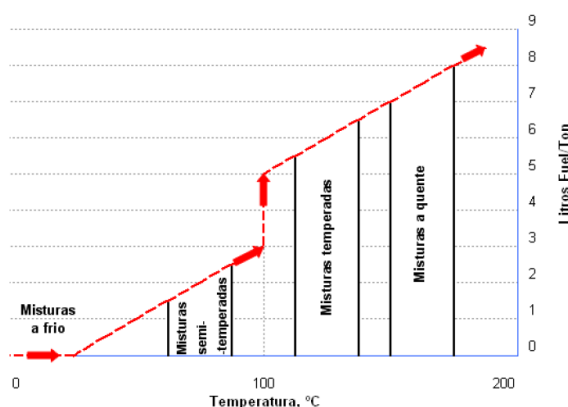


Figura 4.17 - Classificação das misturas betuminosas em função da temperatura de produção (Pereira, 2010)

Neste tipo de misturas a redução da viscosidade do ligante é conseguida através da utilização de emulsões de betume, as quais contêm água, cujos efeitos são uma maior trabalhabilidade da mistura e menor envelhecimento do ligante, devido às baixas temperaturas utilizadas no processo de fabrico e compactação, o que contribui para reduzir a suscetibilidade ao fendilhamento térmico e estrutural (Silva et al., 2009; Nyn14; Loup, et al., 2014).

A norma NP EN 13108-1 (IPQ, 2006) regula algumas propriedades deste tipo de misturas betuminosas. São constituídas por agregados cuja granulometria contínua ou descontínua fornece maior resistência às solicitações mecânicas do pavimento, podendo conter aditivos (podem ser compostos de misturas de ceras parafínicas sintéticas, resinas de hidrocarbonetos, polímeros termoplásticos, óleo vegetal) que facilitam a regeneração do ligante e a reorganização dos agregados, e inibidores da oxidação químicos. Como ligante pode utilizar-se betume espuma (90-100°C) ou emulsão betuminosa (70-115°C) com a viscosidade modificada, o que faz reduzir a temperatura de aplicação (Silva et al, 2009; Alconada, 2011).

As misturas betuminosas semitemperadas são muito semelhantes às misturas tradicionais a quente e podem ser fabricadas na mesma central de produção, só é preciso garantir a existência de equipamentos para dosagem da água, gestão da humidade e controlo do aquecimento do ligante. No entanto estas misturas necessitam de maior compactação devido à água residual, aquando da aplicação em obra (Alconada, 2011).

Um dos mais conhecidos sistemas de fabrico para estas misturas é o usado no chamado "betume de baixa energia" (LEA - *Low Energy Asphalt*), cujo padrão de funcionamento é a formação de espuma no betume (Alconada, 2011).

Quando não se utiliza emulsão ou betume espuma, ou seja, quando não é utilizada água, as misturas são produzidas a cerca de 120°C, designando-se por misturas temperadas. Nestes casos, para a redução da temperatura de fabrico podem utilizar-se produtos químicos concebidos para promover o envolvimento dos agregados, a aderência e a trabalhabilidade (em geral, produtos tensioativos) ou aditivos orgânicos (em geral, ceras parafínicas) (Silva et al, 2009).

#### **4.5. Seleção da Técnica de Conservação para Pavimentos Flexíveis**

A seleção da técnica de conservação para um determinado pavimento contempla três fases distintas segundo o LNEC (LNEC, 2008). Na primeira fase caracteriza-se o estado do pavimento, identificam-se as condicionantes e as exigências de desempenho do mesmo. Na segunda fase é a análise de possíveis soluções técnicas no que se refere à sua eficiência e durabilidade. Na terceira fase faz-se a seleção da solução final, sendo analisado o seu desempenho, condicionantes e custo-benefício.

No que respeita a pavimentos flexíveis, o LNEC estabelece a eficiência do tratamento superficial consoante as patologias existentes no pavimento. Na Figura 4.18 é apresentado um extrato dessa matriz de decisão.

| Tratamentos Superficiais    |    | Anomalia      |                       |                             |                        |                          |                     |     |
|-----------------------------|----|---------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|-----|
|                             |    | Fendilhamento | Cavados de rodela (a) | Irregularidade longitudinal | Defeitos de superfície | Resistência à derrapagem | Capacidade de carga |     |
| Revestimento superficial    | CP |               |                       |                             |                        |                          |                     |     |
|                             | LP |               |                       |                             |                        |                          |                     |     |
| Selagem das fendas / juntas | CP |               | NA                    | NA                          | NA                     | NA                       | NA                  | NA  |
|                             | LP |               |                       |                             |                        |                          |                     |     |
| Reparação localizada        | CP | (1)           | (5)                   | (5)                         |                        |                          |                     |     |
|                             | LP | (1)           | (5)                   | (5)                         |                        | NA                       |                     | (7) |

Legenda:

(1) Para fendilhamento superficial localizado;  
 (2) Elevada para fendilhamento com um nível de severidade baixo. Não é recomendada a aplicação de camadas drenantes sobre pavimentos fendilhados;  
 (3) Aplicável apenas em estradas com baixo volume de tráfego rodoviário;  
 (4) Se o fendilhamento é originado pela fadiga e reflexão a sua eficiência é moderada;  
 (5) Para cavados de rodela localizados;  
 (6) Aplicável a deformações pouco profundas, dependendo da espessura da camada;  
 (7) Para problemas localizados de capacidade de carga, reparação localizada em profundidade apresenta uma eficiência moderada;  
 CP – Curto prazo; LP – Longo prazo; NA – Não aplicável

Chave de cores:

|       |          |      |
|-------|----------|------|
| Baixo | Moderado | Alto |
|-------|----------|------|

Figura 4.18 – Extrato da matriz de eficiência dos tratamentos superficiais para pavimentos flexíveis do LNEC (LNEC, 2008)

Segundo o extrato da matriz da Figura 4.18, o revestimento superficial é de baixa eficiência no tratamento de rodeiras, moderada eficiência no tratamento, a curto prazo, do fendilhamento e de alta eficiência na correção de defeitos de superfície. As reparações localizadas têm uma eficiência moderada na correção de rodeiras localizadas e alta eficiência na correção do fendilhamento a curto prazo.

Também a EP, no seu manual PAV\_TEC (EP, 2012), sugere matrizes de decisão para a seleção da técnica de conservação preventiva em função da longevidade dos diferentes tipos de tratamentos para pavimentos flexíveis. Na Figura 4.19 apresenta-se um extrato de uma dessas matrizes.

| Classe de tratamento                               | Técnica de tratamento      | Custo €/m2 | Factor condicionante (anomalia) |                                   |                                  |   |                              |   |  |                             |                     |   |                                 |           |
|--|----------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|------------------------------|---|--|-----------------------------|---------------------|---|---------------------------------|-----------|
|  |                            |            | Fendilhamento por fadiga        | Fendilhamento superficial/técnica | Resistência à reflexão de fendas | Preenchimento de cavados de rodela resultantes de deformação permanente da fundação (D) | Resistência à derrapagem (G) | Defeitos de superfície (rachas, pedras, desagregação, etc.) | Deformação permanente de rodela betuminosa (cavados de rodela de base estrita) | Irregularidade longitudinal | Capacidade de carga | Prevenção da entrada de água para o interior do pavimento (selagem das fissuras superficiais) | Drenabilidade da superfície [G] | Ruído [G] |
| Camada betuminosa fina (50mm) com mistura a quente | 0,05m AC14surf (BB)        | 4,80       |                                 |                                   | NA                               |   | NA                           |   | NA   | (3)                         |                     |   | NA                              | NA        |
|  | 0,05m AC20reg (MB) [A]     | 4,40       |                                 |                                   | NA                               |   | (1)                          |   | NA   | (3)                         |                     |   | (1)                             | (1)       |
|  | 0,04m PA12,5 (BBa) [B] [E] | 4,30       | NA                              | NA                                | NA                               | NA  |                              |   | NA   | NA                          | NA                  | NA  |                                 |           |
|  | 0,035m AC10surf (mBBr) [E] | 4,50       | NA                              | NA                                | NA                               | NA  |                              |   | NA   | NA                          | NA                  |   |                                 |           |
|  | 0,04m AC14surf (BBr) [E]   | 4,20       |                                 |                                   | NA                               |   |                              |   | NA   | (3)                         |                     |   |                                 |           |
|  | 0,035m MBA-BBA [F]         | 6,22       | NA                              |                                   | NA                               | NA  |                              |   | NA   | NA                          | NA                  |   |                                 |           |
|  | 0,04m MBR-BBA [F]          | 7,45       |                                 |                                   | NA                               |   |                              |   | NA   | (3)                         | NA                  |   |                                 |           |
|  | 0,035m MBA-BBM [E]         | 5,75       | NA                              |                                   | NA                               | NA  |                              |   | NA   | NA                          | NA                  |   |                                 |           |

NA

Piora (o desempenho do pavimento pode diminuir para a anomalia em causa)

Melhora pouco (as características superficiais são melhoradas e a resolução do problema é protelada por curto/médio prazo)

Melhora muito (as características superficiais são melhoradas e o problema é total ou parcialmente solucionado por curto/médio prazo)

Não aplicável (solução não adequada à resolução/distarce da anomalia ou tendo em conta o ponto 0 adoptado)

Figura 4.19 - Extrato da matriz de decisão das técnicas de tratamentos superficiais da EP (EP, 2012)

Conforme se pode verificar na matriz da Figura 4.20, uma camada betuminosa AC10surf com 35mm de espessura, quando aplicada para conferir resistência à derrapagem, melhora muito as características superficiais do pavimento e corrige ou elimina a anomalia a curto ou médio prazo.

Num trabalho recente (Figueiredo, 2011), e após o inquérito realizado a vários Municípios, aplicou-se uma metodologia de apoio à decisão, para facilitar a escolha da técnica de conservação pelos técnicos municipais, através de uma análise multicritério, na qual se avaliam as alternativas de técnicas de conservação com base em critérios de custo e benefício (C2 até C4, e B1 até B4). A avaliação considera a importância dessas alternativas em relação aos



critérios estabelecidos, em que 1 corresponde a mau, 2 corresponde a medíocre, 3 corresponde a razoável, 4 corresponde a bom e 5 corresponde a muito bom, conforme se ilustra na Tabela 4.3 que se reproduz do referido trabalho.

Os critérios de custo foram estabelecidos para minimizar o seu impacto, assim, o custo C1 corresponde ao custo da solução (materiais + execução), o custo C2 corresponde à perturbação para os utentes durante a intervenção /tempo de execução, o custo C3 diz respeito à disponibilidade de empreiteiros/equipamentos e o custo C4 corresponde ao custo inerente à alteração das cotas de soleira.

Por outro lado, os critérios de benefício foram maximizados, assim, o benefício B1 corresponde à impermeabilidade do pavimento, o benefício B2 corresponde à textura/rugosidade/atrito, o benefício B3 corresponde à regularidade e o benefício B4 caracteriza a influência na capacidade resistente conferida.

Tabela 4.3 – Importância das alternativas relativamente aos critérios (Figueiredo, 2011)

| ALTERNATIVAS |  | CRITÉRIOS                 |  |   |                               |                  |                       |              |                 |
|--------------|--|---------------------------|--|---|-------------------------------|------------------|-----------------------|--------------|-----------------|
|              |  | C1                        | C2   | C3  | C4                            | B1               | B2                    | B3           | B4              |
|              |  | Custo (€/m <sup>2</sup> ) | Tempo relativo de execução/perturbação para os utentes | Disponibilidade de equipamento / empreiteiros | Alteração de cotas de soleira | Impermeabilidade | Rugosidade/ Aderência | Regularidade | Cap. resistente |
| A1           | Rev. Superficial Simples                                       | 2                         | 4  | 5   | 1                             | 1                | 3                     | 1            | 1               |
| A2           | Rev. Sup. Simples + Fog-seal                                   | 2,6                       | 3  | 5   | 1                             | 2                | 3                     | 1            | 1               |
| A3           | Rev. Sup. Duplo  | 3                         | 3  | 5   | 1                             | 3                | 3                     | 2            | 1               |
| A4           | Microbetão rugoso  | 5                         | 1  | 4   | 3                             | 4                | 5                     | 3            | 3               |
| A5           | Argamassa betuminosa   | 4                         | 1  | 4   | 2                             | 5                | 1                     | 3            | 2               |
| A6           | Microaglomerado betuminoso a frio                              | 1,5                       | 5  | 3   | 1                             | 3                | 2                     | 2            | 2               |
| A7           | Lama asfáltica   | 1                         | 5  | 3   | 1                             | 2                | 1                     | 1            | 1               |
| A8           | AC 14 Surf ligante (BB)  | 5                         | 1  | 5   | 4                             | 4                | 4                     | 4            | 4               |
| A9           | Reperfilamento com AC 20 reg ligante + M.A.B.a frio simples    | 4,3                       | 3  | 3   | 2                             | 3                | 2                     | 3            | 2               |
| A10          | Fresagem + Reparação de Covas + Rev. Sup. Duplo                | 3,9                       | 2  | 5   | 1                             | 3                | 3                     | 3            | 1               |
| A11          | Reperfilamento AC 14 surf ligante (BB) + M.A.B. a frio simples | 3,5                       | 3  | 3   | 2                             | 3                | 2                     | 3            | 2               |
| A12          | Fresagem + Reparação de Covas + Rev. Sup. Simples              | 2,9                       | 2  | 5   | 1                             | 1                | 3                     | 2            | 1               |
| A13          | Reparação de covas + Lama Asfáltica                            | 2,6                       | 5  | 3   | 1                             | 2                | 1                     | 2            | 1               |

As conclusões desta análise apresentam-se na Tabela 4.4, na qual se mostra que consoante o tipo de via e o índice de qualidade da mesma, são propostas quatro alternativas de técnicas de conservação.

Tabela 4.4 – Técnica de conservação em função do IQ e do tipo de via (adaptado de Figueiredo, 2011)

| VIA  | IQ        | ORDENAÇÃO DAS TÉCNICAS | TÉCNICA DE CONSERVAÇÃO A APLICAR  |
|--|-----------|------------------------|---|
| <b>Distribuidora Principal (Via Arterial)</b>  | 2,5 a 3,5 | 1º                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2º                     | ▪ Revestimento Superficial Simples<br>▪ Revestimento Superficial Duplo  |
|  |           | 3º                     | Revestimento Superficial Simples + Fog-Seal   |
|  |           | 4º                     | ▪ Lama Asfáltica<br>▪ AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  | <2,5      | 1º                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2º                     | AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  |           | 3º                     | ▪ Microbetão rugoso<br>▪ Reperfilamento com AC 14 reg -ligante + Microaglomerado betuminoso a frio simples                              |
|  |           | 4º                     | ▪ Revestimento Superficial Simples<br>▪ Revestimento Superficial Duplo  |
| <b>Distribuidora Secundária (Via Coletora)</b> | 2,5 a 3,5 | 1º                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2º                     | Revestimento Superficial Duplo  |
|  |           | 3º                     | Revestimento Superficial Simples  |
|  |           | 4º                     | ▪ Revestimento Superficial Simples + Fog-Seal<br>▪ AC 14 Surf (Betão Betuminoso)  |
|  | <2,5      | 1º                     | AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  |           | 2º                     | ▪ Revestimento Superficial Duplo<br>▪ Microbetão rugoso<br>▪ Microaglomerado betuminoso a frio  |
|  |           | 3º                     | Fresagem + reparação de covas + rev. Sup. Duplo   |
|  |           | 4º                     | Revestimento Superficial Simples  |
| <b>Acesso Local (Via Local)</b>                | 2,5 a 3,5 | 1º                     | Revestimento Superficial Simples  |
|  |           | 2º                     | Revestimento Superficial Duplo  |
|  |           | 3º                     | ▪ Revestimento Superficial Simples + Fog-Seal<br>▪ Microaglomerado betuminoso a frio  |
|  |           | 4º                     | AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  | <2,5      | 1º                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2º                     | Microbetão rugoso   |
|  |           | 3º                     | ▪ Revestimento Superficial Duplo<br>▪ AC 14 Surf (Betão Betuminoso)<br>▪ Fresagem + reparação de covas + Revestimento Superficial Duplo |
|  |           | 4º                     | Reperfilamento com AC 14 reg -ligante + Microaglomerado betuminoso a frio simples   |

A técnica sugerida em primeiro lugar para cada situação pode não ser a mais adequada para uma situação mais específica. Contudo, as classificações obtidas pela aplicação do método de apoio à decisão permitem que um técnico não especializado possa verificar quais as soluções técnicas mais plausíveis.

## 4.6. Conservação de Pavimentos de Blocos

A conservação de pavimentos de blocos é mais simples que a conservação em pavimentos flexíveis, uma vez que não exige mão de obra geralmente disponível e é executada recorrendo a equipamentos mais elementares. Se for efetuada no tempo certo ao longo do tempo, evita a necessidade de reforço ou a reconstrução da estrutura do pavimento.

A bibliografia recomenda algumas ações de conservação para pavimentos de blocos, as quais se ilustram na Figura 4.21 e se descrevem de seguida (Carvalho, 2011; Shackel et al, 2014):

- Limpeza regular da superfície do pavimento, para evitar a acumulação de detritos, que contribuem para o desgaste da superfície dos blocos, permitem a acumulação de água que pode causar dano na estrutura do pavimento, o crescimento de vegetação, entre outros;
- Limpeza da vegetação que cresce nas juntas, manualmente com recurso a ferramentas pontiagudas ou com utilização de herbicida, por aspersão ou por adição ao material a colocar nas juntas; após a limpeza será necessário adicionar material de fecho das juntas (imagem A da Figura 4.21);
- Selagem do pavimento para estabilização do material existente nas juntas e proteção da superfície do bloco (imagem B da Figura 4.21);
- Adição de material de fecho das juntas para manter o travamento dos blocos, com espalhamento e vibração da superfície com recurso a placa vibratória, para que haja penetração efetiva do material;
- Substituição dos blocos com defeito, ou a simples troca de face do bloco voltada para cima atendendo ao desgaste do mesmo (imagem C da Figura 4.21);
- Recolocação dos blocos deslocados e restauro da camada inferior do pavimento caso existam pequenas deformações;
- Reposição das camadas do pavimento em áreas com grandes deformações nas quais pode ser necessário proceder à revisão do dimensionamento do mesmo (imagem D da Figura 4.21).

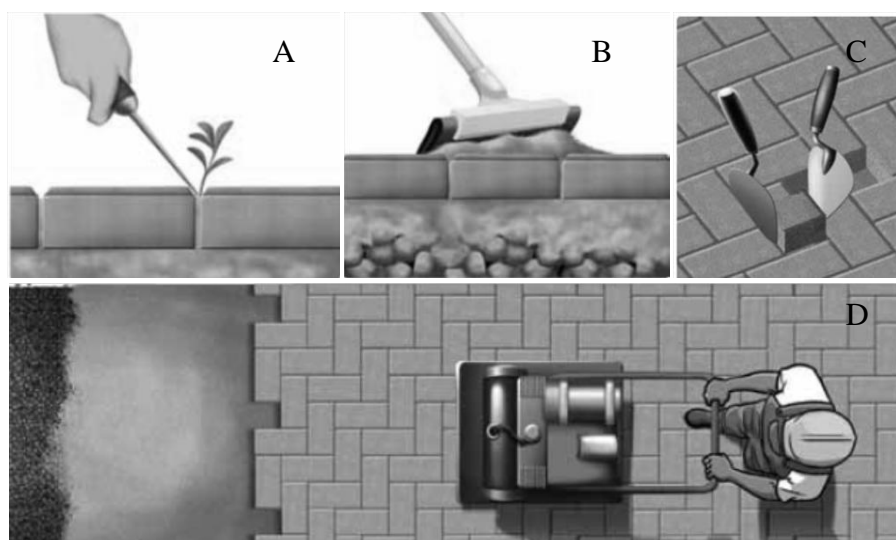


Figura 4.21 - Operações de conservação de pavimento de blocos (ABCP, 2010)

Alguns guias de conservação/manutenção relacionam, de uma forma expedita, a patologia do pavimento e o tipo de ação de manutenção/conservação a efetuar. No anexo IV, na Tabela A. 5 apresenta-se uma compilação dessas ações.

Os procedimentos inerentes à reparação de patologias em pavimentos de blocos, descrevem-se de seguida e ilustram-se na Figura 4.22 (ICPI, 1996):

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Delimitação da área de intervenção, com largura acrescida de 80cm à largura da zona afetada ou para abertura de vala;
- 3º. Remoção dos blocos; a remoção do primeiro bloco pode implicar a extração do material existente nas juntas, colocação dos blocos em montes ao longo da vala, com um afastamento mínimo de 60 cm em relação à zona de trabalho, para facilitar o processo de reposição do pavimento e colocação de proteção em redor dos blocos remanescentes, para que não exista movimento dos mesmos;
- 4º. Remoção da almofada de areia, da camada de base e camada de sub-base, se necessário;
- 5º. No caso de abertura e tapamento de valas, procede-se à escavação do solo, regularização do fundo da vala, execução de almofada de areia, colocação da tubagem e envolvimento desta, preenchimento da vala, conforme os procedimentos já descritos para a abertura e tapamento de valas para pavimentos flexíveis;
- 6º. Se necessário, reposição das camadas estruturais com as mesmas características do pavimento existente e compactação;
- 7º. Execução de almofada de areia, aplicação dos blocos e ajuste do espaçamento das juntas;
- 8º. Compactação do pavimento, manual ou mecanicamente;
- 9º. Colocação e espalhamento de material de fecho das juntas.



Figura 4.22 – Procedimentos de reposição das camadas do pavimento de blocos (Pro14; ICPI, 1996)

## **4.7. Considerações Finais**

Tanto quando possível, a opção mais correta deve ser a aplicação de técnicas de conservação mais ligeiras em estados de degradação pouco desenvolvidos, que mantenham o pavimento em boas condições, quer ao nível da segurança e conforto dos utilizadores, quer do ponto de vista estrutural. Este tipo de atitude tende a proporcionar menores custos para os utilizadores da via, e uma menor depreciação do valor dos pavimentos ao longo do tempo de serviço.

Um pavimento de blocos corretamente dimensionado e executado requer menos ações de conservação que o pavimento flexível e, quando estas existem, são também mais simples e económicas, facilmente executadas por trabalhadores de um município, uma vez que são utilizados equipamentos mais comuns (maço, vassoura, espalhador, entre outros) e mão de obra especializada e experiente (calceteiros).

## 5. ORGANIZAÇÃO DO MANUAL

### 5.1. Considerações Iniciais

Os técnicos municipais, na área da engenharia civil, desdobram-se em diferentes áreas de atuação, como se diz na gíria, são “pau para toda a obra”, principalmente em municípios com escassos recursos humanos, técnicos e financeiros. Executam tarefas, por vezes díspares, inerentes à construção, conservação e reabilitação de infraestruturas públicas. Nessas infraestruturas está incluída a rede viária, as redes de abastecimento de água e saneamento, edifícios e equipamentos. Atendendo à pluralidade das áreas de atuação, os técnicos municipais possuem um conhecimento generalista, não sendo, em geral, especialistas numa única área.

O investimento municipal na construção rodoviária é cada vez mais reduzido e a rede viária municipal construída, com o passar dos anos, degrada-se. Assim, é necessário adotar ações de conservação preventiva, sendo para isso exigido o domínio de conhecimento técnico, económico e financeiro, das opções de conservação disponíveis no mercado e do momento oportuno para realizar essas ações.

O manual, cuja estrutura se sintetiza neste capítulo, pretende responder de forma simples às necessidades dos técnicos municipais, servindo como um guia no processo de escolha das intervenções de conservação rodoviária para pavimentos flexíveis e de blocos. Disponibiliza informação respeitante à constituição dos pavimentos rodoviários, ao desenvolvimento de patologias, à avaliação de qualidade dos pavimentos, às técnicas de conservação mais utilizadas e à gestão das ações de conservação.

### 5.2. Estrutura do Manual

O manual é um instrumento que se destina a organizar um conjunto de informações, metodologias e ferramentas de trabalho. Nesse documento procura-se reunir e sistematizar informação inerente à conservação de pavimentos flexíveis e de blocos, para pequenas redes rodoviárias municipais.

A linguagem de um manual deve ser objetiva, clara e acessível, ou seja, facilmente compreendida pelo seu utilizador. Espera-se que seja uma boa ferramenta de trabalho para os técnicos municipais e que facilite o aperfeiçoamento das suas competências, no âmbito da conservação rodoviária.

O título proposto para o manual é **Manual de Conservação de Pequenas Redes Rodoviárias Municipais**, o qual coincide, em parte, com o título desta dissertação.

A proposta deste manual é apresentada no Anexo VII. No entanto, descreve-se resumidamente a estrutura do mesmo nos parágrafos seguintes.

A estrutura do manual inclui os seguintes capítulos:

#### 1. CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS

2. FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES
3. AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO
4. CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS
5. CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BLOCOS
6. GESTÃO DA CONSERVAÇÃO
7. CASO PRÁTICO

No título “Características dos Pavimentos” descrevem-se as diversas características dos pavimentos, designadamente a função das camadas dos pavimentos flexíveis e de blocos, o seu comportamento funcional e estrutural, e os materiais constituintes.

No título “Famílias de Degradações” descreve-se de forma resumida o processo de evolução das degradações, a sequência e interação mútua entre as famílias de degradações dos pavimentos e apresenta-se a Tabela 5.1 com uma classificação para as patologias.

Tabela 5.1- Famílias de degradações de pavimentos flexíveis e de blocos (adaptado de Branco, et al., 2011)

| FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES                 | TIPOS DE DEGRADAÇÕES                      |  |   |
|---|---|--|---|
|   | PAVIMENTOS FLEXÍVEIS                      |  | PAVIMENTOS DE BLOCOS  |
| DEFORMAÇÕES                             | Abatimento                                | Longitudinal (no eixo ou berma)                | – Depressões ou abatimento<br>– Rodeiras<br>– Escalonamento dos blocos<br>– Empolamento dos blocos<br>– Reparações                                      |
|   |   | Transversal                                    |   |
|   | – Deformações localizadas<br>– Ondulações |  |   |
|   | Rodeiras                                  | Grande raio (camadas inferiores)               |   |
|   |   | Pequeno raio (camadas superiores)              |   |
| FENDILHAMENTO                           | Fendas                                    | Transversais                                   |   |
|   |   | Longitudinais (no eixo ou berma)               |   |
|   |   | Pele de Crocodilo (malha fina ou malha grossa) |   |
| DESPRENDIMENTO E MOVIMENTO DE MATERIAIS | – Desagregação superficial                |  | – Bloco danificado<br>– Falta de blocos<br>– Confinamento lateral<br>– Espessura excessiva das juntas<br>– Arrastamento horizontal<br>– Subida de finos |
|   | – Cabeça de gato                          |  |   |
|   | – Pelada                                  |  |   |
|   | – Ninhos ou covas                         |  |   |
|   | – Polimento dos agregados                 |  |   |
|   | – Exsudação                               |  |   |
|   | – Subida de finos                         |  |   |
| – Desprendimento dos agregados          |   |  |   |

Apresenta-se ainda uma breve análise dos principais fatores que contribuem para a formação e desenvolvimento de uma degradação em pavimentos flexíveis, sintetizando-se os fatores através da Tabela 5.2.



Tabela 5.2 - Classificação das relações entre as degradações e os fatores de degradação (Branco, et al., 2011)

| DEGRADAÇÕES              | FATORES DE DEGRADAÇÃO |   |                                   |  |  |  |                         |                                    |                          |                  |
|--------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|--|--|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------|
|                          | Condições de drenagem | Subdimensionamento das camadas inferiores | Capacidade de suporte da fundação | Camadas estruturais de reduzida capacidade | Ligação entre a camada de base e de desgaste | Subdimensionamento da camada de desgaste | Qualidade dos materiais | Deficiências de fabrico e execução | Agressividade do tráfego | Ações Climáticas |
| Deformações              | ***                   | **  | ***                               | ***  |  | *  | *                       | **                                 | *                        | ***              |
| Rodeiras                 | ***                   | **  | ***                               | ***  |  | *  | **                      | *                                  | **                       | ***              |
| Fendas                   | **                    | **  | **                                | ***  | **   | **                                       | ***                     | **                                 | ***                      | ***              |
| Pele de Crocodilo        | **                    | **  | **                                | ***  | **   | **                                       | ***                     | **                                 | ***                      | ***              |
| Pelada                   |                       | *   |                                   | **   | ***  | ***                                      | **                      | **                                 | ***                      | **               |
| Ninhos ou covas          |                       | *   |                                   | ***  | **   | **                                       | ***                     | ***                                | **                       | ***              |
| Cabeça de gato           |                       |   |                                   | **   |  |  | ***                     | **                                 | ***                      | **               |
| Desagregação superficial |                       |   |                                   | **   |  |  | ***                     | ***                                | **                       | **               |
| Exsudação                |                       |   |                                   |  |  |  | ***                     | **                                 | ***                      |                  |

|     |                  |    |            |   |                  |
|-----|------------------|----|------------|---|------------------|
| *** | Muito importante | ** | Importante | * | Pouco importante |
|-----|------------------|----|------------|---|------------------|

Quanto aos pavimentos de blocos, na literatura portuguesa ainda não existe nenhum manual que permita a identificação das patologias que podem ocorrer. Assim adota-se assim a classificação proposta pelo ICPI no seu manual (ICPI & ARA, 2007) e agrupam-se em famílias de patologias tal como para os pavimentos flexíveis, que são as deformações, a degradação da camada de desgaste e movimentos dos materiais. Utiliza-se a informação apresentada no título 2.5 desta dissertação e complementa-se com a Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Tipos de degradações e os fatores de degradação de pavimentos de blocos (adaptado de ICPI &amp; ARA, 2007)

| DEGRADAÇÕES                  | FATORES DE DEGRADAÇÃO             |                               |                                 |  |                         |                                    |                          |                  |   | Outras patologias  |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------|---|--|
|                              | Condições de drenagem superficial | Condições de drenagem interna | Subdimensionamento do pavimento | Camadas estruturais de reduzida capacidade | Qualidade dos materiais | Deficiências de fabrico e execução | Agressividade do tráfego | Ações Climáticas | Outros fatores (existência de infraestruturas, ...) |  |
| Rodeiras                     | X                                 | X                             | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        |                  |   | –  |
| Depressões                   | X                                 | X                             | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        |                  | X   | –  |
| Escalonamento dos blocos     | X                                 |                               |                                 |  | X                       | X                                  | X                        | X                |   | – Subida de finos<br>– Depressões<br>– Rodeiras            |
| Empolamento dos blocos       | X                                 | X                             |                                 |  | X                       |                                    |                          | X                |   | – Depressões<br>– Rodeiras                                 |
| Reparações                   | X                                 | X                             | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        | X                |   |  |
| Bloco danificado             | X                                 |                               | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        | X                | X   |  |
| Falta de blocos              | X                                 |                               | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        | X                | X   | – Bloco danificado   |
| Confinamento lateral         |                                   |                               | X                               | X  |                         | X                                  | X                        |                  |   | – Depressões<br>– Rodeiras                                 |
| Largura excessiva das juntas |                                   |                               | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        |                  |   | – Depressões<br>– Rodeiras<br>– Confinamento lateral       |
| Arrastamento horizontal      | X                                 |                               | X                               | X  |                         | X                                  | X                        |                  |   | – Confinamento lateral<br>– Espessura excessiva das juntas |
| Subida de finos              | X                                 |                               |                                 |  | X                       | X                                  | X                        |                  |   |  |

A “Avaliação do Estado de Conservação” é um título muito importante pois mostra como efetuar, de uma forma expedita, a avaliação da qualidade dos pavimentos flexíveis e de blocos, com poucos recursos materiais, humanos e financeiros.

Ainda neste título é incluída a Tabela 5.4 que faz a correspondência entre as características a levantar e o equipamento ou método a utilizar.

Tabela 5.4 - Correspondência entre as características funcionais a levantar e o equipamento/ensaio utilizado

| CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS A AVALIAR           | ENSAIO/EQUIPAMENTO             |   | BREVE DESCRIÇÃO   | NORMA               |
|--|--------------------------------|---|---|---------------------|
| <b>PROFUNDIDADE DA TEXTURA SUPERFICIAL</b>     | Ensaio da Mancha de Areia      |    | Ensaio destinado a avaliar a macrotextura do pavimento; caracteriza a superfície do pavimento quanto à sua capacidade para drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento.  | NP EN 13036-1: 2011 |
| <b>ATRITO</b>                                  | Ensaio do Pêndulo Britânico    |    | Ensaio destinado a medir as características de aderência e a microtextura da superfície de um pavimento. Simula o desempenho de um veículo a travar sobre a superfície de um pavimento molhado a 50km/h.  | EN 13036-4:2003     |
|  | Grip Tester                    |    | Equipamento para medição do coeficiente de atrito longitudinal (CAL) através da medição das forças horizontais e verticais exercidas no pneu em deslocamento sobre o pavimento.   | BS 7941-2000        |
|  | SCRIM                          |   | O equipamento permite a medição contínua do coeficiente de atrito transversal (CAT) que é a razão entre a força horizontal T e a ação vertical R, que a massa suspensa exerce sobre a roda com o valor de 200 kg.                               | BS 7941-1:2006      |
| <b>REGULARIDADE LONGITUDINAL E TRANSVERSAL</b> | Ensaio da Régua de 3 metros    |  | Sistema de perfilómetro mais simples, para medição da irregularidade longitudinal ou transversal, é um ensaio estático, útil na medição das deformações permanentes e irregularidades.  | BS EN 13036-7:2003  |
|  | Perfilómetro Laser             |  | Equipamento de medição dos desvios altimétricos da superfície do pavimento em relação a um perfil ideal, avaliação da irregularidade longitudinal e transversal, permite determinar a profundidade da textura e/ou das rodeiras, e ainda o IRI. |                     |
|  | Perfilómetro Inercial          |  | Equipamento de referência inercial para determinação do IRI em contínuo. O princípio de medida está associado às oscilações angulares entre o braço de suporte da roda de medição e o pêndulo inercial.   | NF P 98-218-3       |
| <b>DRENABILIDADE SUPERFICIAL</b>               | Ensaio do Permeâmetro          |  | Ensaio utilizado para determinar a condutividade hidráulica relativa da superfície do pavimento, ou o tempo que leva a escoar 4 litros de água numa dada área de superfície de pavimento.   | EN 12697-40:2005    |
|  | Medidor de Escoamento          |  | O ensaio tem como objetivo simular a drenagem da água que está entre a área de contacto de um pneu de um veículo em movimento e o pavimento.  | NP EN 13036-3:2011  |
| <b>RUÍDO</b>                                   | Método Estatístico de Passagem |  | Metodologia para determinar o desempenho acústico da superfície de um pavimento é determinado um índice que tem em conta as categorias de veículos e velocidades e os níveis sonoros do veículo   | ISO 11819-1:2013    |

Conhecido o estado em que se encontra o pavimento rodoviário é necessário estabelecer qual é a técnica de conservação mais adequada a aplicar. No título “Técnicas de Conservação de Pavimentos Flexíveis” é efetuada uma descrição das técnicas de conservação de pavimentos flexíveis, parciais ou contínuas, mais utilizadas, de forma semelhante ao descrito nos títulos 4.2 e 4.3 desta dissertação.

No título “Conservação de Pavimentos de Blocos” descrevem-se as ações de conservação habitualmente realizadas em pavimentos de blocos.

No título “Gestão da Conservação” faz-se referência a metodologias de avaliação de estratégias para decidir qual o prazo de intervenção por forma a reduzir custos e manter a qualidade do pavimento, tal como se apresentou no título 3.6.3 desta dissertação.

Inclui-se também alguma informação relevante relacionada com a utilização de SIG – Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta de suporte ao armazenamento e manipulação de informação passível de ser geograficamente referenciada. O SIG contém duas componentes fundamentais, a componente gráfica ou cartográfica, em formato raster ou vetorial, e a componente alfanumérica dos dados (tabelas e metadados), que se relacionam através de identificadores comuns ou códigos.

Um SIG aplicado à gestão da conservação da rede viária municipal permite a modelação da rede com informação alfanumérica associada, facilita a pesquisa e identificação das características de uma determinada secção da via, e permite ainda efetuar análises espaciais com critérios preestabelecidos.

Com o objetivo de concretizar as metodologias, apresentam-se dois exemplos práticos de aplicação, para demonstração dos resultados obtidos e melhor explicação dos assuntos abordados no manual. Os exemplos expõem-se no título “Casos Práticos”, referindo-se a vias dos municípios de Coimbra e de Vila Nova de Poiares.

O primeiro caso prático corresponde ao levantamento e avaliação de pavimentos localizados em Vila Nova de Poiares, um município com menores recursos técnicos, onde grande parte da informação é desconhecida, designadamente a estrutura e características dos pavimentos. Adotaram-se métodos simples para a previsão da evolução do estado dos pavimentos, de forma a determinar o prazo adequado para intervir nos mesmos.

O segundo caso prático corresponde ao levantamento e avaliação de ruas da cidade de Coimbra realizado no âmbito de uma dissertação realizada no ISEC (Picado dos Santos, 2014), utilizando as metodologias apresentadas nesta dissertação.

### **5.3. Considerações Finais**

Um manual simples é uma ferramenta de trabalho que permite poupar esforço de pesquisa de informação que se adegue à realidade de um Município. O tempo para a pesquisa é algo que os técnicos municipais não possuem, quando lhes é solicitada a execução de uma tarefa deste gabarito, as chefias pedem atuação imediata.

Espera-se que este manual cumpra os objetivos de poupança de tempo, redução de custos e apoio a uma melhor gestão da conservação de pavimentos.

O manual que se propõe, e cujos princípios se apresentam ao longo da presente dissertação, não pode ser considerado estático. A experiência vai ditar a necessidade do seu desenvolvimento ou alteração, ou a adoção de adaptações das metodologias consideradas para a sua utilização.





## **6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

### **6.1. Conclusão e Síntese do Trabalho**

A conservação de pavimentos pode ser uma tarefa mais simples e económica se for efetuada no tempo certo. Caso tal não aconteça, o pavimento pode atingir a ruína. É, portanto, importante criar rotinas de observação e conservação de pavimentos, para que seja possível determinar o estado de conservação, a qualidade e a evolução das condições de serviço do mesmo, por forma a reduzir os custos de operação relacionados com a rede viária, de âmbito nacional ou municipal.

Nesta dissertação reuniu-se informação relacionada com a constituição dos pavimentos, as famílias de degradações que os afetam, a técnica de levantamento visual das degradações, os métodos para realizar o levantamento das características superficiais, a avaliação da qualidade e de estratégias de atuação, com o objetivo de apoiar as decisões relacionadas com as ações de conservação a aplicar nos trechos de uma rede municipal. Além disso, descreveram-se as técnicas de conservação mais utilizadas nos municípios, e apresentaram-se metodologias de apoio à seleção das técnicas de conservação para pavimentos flexíveis e para pavimentos de blocos. A informação recolhida foi utilizada como base para a estruturação de um manual de conservação de pavimentos que procura dar indicações simples, de modo a auxiliar a tarefa dos técnicos municipais, mesmo quando não dispõem de meios especializados.

Considera-se que a execução do manual de conservação poderá ser uma ferramenta de trabalho com bastante utilidade para os técnicos municipais, pois fornece indicações simples e realizáveis por técnicos com formação não especializada acerca da avaliação da qualidade de pavimentos e da gestão do seu estado de conservação.

### **6.2. Trabalhos Futuros**

Seria útil em trabalhos futuros estender a metodologia de avaliação do estado de conservação dos pavimentos de blocos prefabricados de betão, para os restantes pavimentos de blocos, atendendo à quantidade de vias municipais com pavimentos de calçada existente no nosso país.

Seria também útil estabelecer uma forma de avaliação da qualidade para pavimentos de blocos, traduzida por um índice de qualidade, IQ, semelhante ao proposto para os pavimentos flexíveis, por forma a homogeneizar, no manual, os métodos de avaliação da qualidade e de estratégias.

Entende-se que como base para elaboração de um manual os temas expostos são necessários. Contudo, a aplicação concreta das metodologias propostas a várias realidades poderá contribuir para futuras revisões do manual, de modo a que responda melhor às necessidades dos engenheiros que atuam na área da gestão da conservação de vias municipais.

Além disso, o manual que se propõe deve ser complementado com fichas de inventário, fichas de levantamento e folhas de cálculo, em formato digital, de modo a facilitar a organização da informação e a análise dos dados recolhidos.

### **6.3. Considerações Finais**

A profissão da autora influenciou a escolha do tema desta dissertação. Enquanto técnica superior numa Câmara Municipal, procurou estudar um tema que pudesse vir a ser útil no seu local de trabalho. Efetivamente, em municípios de pequena dimensão os técnicos municipais são multifacetados, têm que saber de tudo um pouco e a informação relativa ao património rodoviário municipal, ou não existe, ou não está organizada. Assim, com o estudo deste tema a autora pôde aliar a utilidade de um trabalho académico às necessidades da sua carreira profissional.

Por fim, é de referir que os objetivos inicialmente estabelecidos foram atingidos, o que se traduziu na elaboração de uma proposta de manual, o qual pode contribuir, não obstante a necessidade da sua melhoria contínua, para o aperfeiçoamento das ações de conservação e do estado de conservação dos pavimentos municipais do país, mesmo quando os meios técnicos e financeiros são escassos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. USA.
- ABCP(2010). Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, Brasil
- Alconada, I. B. (2011). Contribuição para o Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas Betuminosas Mornas, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Almeida, A., Picado, L., Capitão, S. D. (2013). Avaliação do Efeito da Irregularidade Longitudinal na Vida do Pavimento usando o Método dos Elementos de Fronteira. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Alves, T. (2007). Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários Aplicação Prática do Radar de Prospecção e do Deflectómetro de Impacto, dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Ascenso, S. R. (2011). Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários - Avaliação das características Superficiais, relatório de estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Asphalt-Institute. (2009). Asphalt in Pavement Preservation and Maintenance, 4th Edition. Asphalt Institute. USA.
- Azevedo, M. C. (2010). Indicadores de Segurança do Estado dos Pavimentos, Instituto de Infraestruturas. Comunicação apresentada em Projetos para o Futuro - Fórum de Inovação e Normalização. Lisboa.
- Barreto, F. M. (2013). Beneficiação, Reabilitação e Manutenção de Estradas, dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Barros, R. B. (2004). Rui Barros. Medição do Coeficiente de Atrito com o “Grip-tester”. Comunicação apresentada no III Congresso Rodoviário Português - Estrada 2004. Lisboa.
- Bernucci, L., Motta, L., Ceratti, J., Soares, J (2008). Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro.
- Branco F., Pereira, P., Picado, L. (2011). Pavimentos Rodoviários. Coimbra. Almedina
- Brett (2014). Paving Maintenance and Repair Guide. Brett Landscaping & Building Products.
- Capitão, S. D. (2014). Abertura e Tapamento de Valas em Pavimentos Rodoviários. Instituto Superior de Educação de Coimbra.
- Capitão, S. D. (2011). Pavimentos de blocos. Comunicação apresentada no âmbito da FENGE 2011. Instituto Superior de Educação de Coimbra. Coimbra.
- Carvalho, T., Colas, M.. (2013). Microaglomerados a Frio. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Carvalho, D. B. (2011). Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação

- em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana. São Paulo, Brasil.
- CCDRN (2010). Manual de Acessibilidades e da Gestão Viária. Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional do Norte. Porto.
- CDM (2003). Maintenance Technical Advisory Guide. Volume I- Flexible Pavement Preservation Fog Seals, chapter 6. Caltrans Division of Maintenance. Califórnia.
- Cunha, C. M. (2010). Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa.
- DER/PR (2005). DER/PR ES-P 31/05 - Pavimentação: Fresagem a frio. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. Curitiba, Panamá.
- DGEG (2009). Manual da Calçada Portuguesa. Direção Geral de Energia e Geologia. Lisboa.
- EP (2009). Caderno de Encargos Tipo Obras. Estradas de Portugal S.A. Lisboa.
- EP (2012). Manual PAV\_TEC- Técnicas e metodologias para a melhoria do estado dos pavimentos, Seleção de Técnicas para a Conservação Preventiva de Pavimentos. Estradas de Portugal S.A.. Lisboa.
- EP (2008). Catalogo de Degradações das Estradas de Portugal. Estradas de Portugal S. A. Lisboa.
- Eugénio, B. M.. (2008). Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialização em Vias de Comunicação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Falcão, P., Farias, M., Santos, A. (2005). Estudo da Macro e Micro Textura do Pavimento da Br-060 no Trecho das Sete Curvas. Comunicação da 36ª Reunião Anual de Pavimentação. Curitiba, Brasil.
- Ferreira, A. (1996). Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos de Rede Rodoviárias - Sistema de Informação Geográfica aplicado na Gestão da Conservação da Rede Rodoviária Municipal - Aplicação à Rede Rodoviária de Coimbra. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, especialidade de Engenharia Urbana, apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Ferreira, J. M.. (2007). Pavimentos em Espaços Públicos Urbanos-Contribuição para a Análise e Conceção de Soluções, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.
- Figueiredo, N., Capitão, S. D., Neves, J.. (2013). Avaliação e conservação de pavimentos rodoviários municipais com baixo tráfego – situação existente e metodologia de apoio. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Figueiredo, N. P. (2011). Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego- Contribuição para uma Metodologia de Apoio, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.

- Francisco, A. P. (2012). Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Relatório Final de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Construção. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança.
- Freitas, M. R. (2012). Avaliação Numérica do Comportamento de Reforços de Pavimento à Reflexão de Fendas. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Construção. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Bragança.
- Gardete, D. C. (2006). Comparação de Ensaio Laboratoriais para a Caracterização de Misturas Betuminosas à Deformação Permanente. Dissertação submetida à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Rodoviária. Coimbra
- Hassan, R., Lin, O., Thananjeyan, A. (2014). Modelling subjective condition data of asphalt surfaced urban pavements. Transport Research Arena 2014. Paris.
- Hein, D. K., Aho, B., Burak, R.. (2009). Development of a Pavement Condition Index Procedure for Interlocking Concrete Pavements. 9th. International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, Argentina.
- Horta, C. S., Pereira, F., Lopes, S., Morgado, J. (2013). O Sistema de Gestão de Conservação de Pavimentos da Estradas de Portugal, S.A. – Balanço de uma Implementação Consolidada. 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- ICPI & ARA (2007). Interlocking Concrete Pavement - Distress Manual. Interlocking Concrete Pavement Institute e Applied Research Associates, Inc.. Canadá.
- ICPI (1996). Tech Spec 6- Reinstatement of interlocking concrete pavements. Interlocking Concrete Pavement Institute. Canadá.
- LNEC (2008). Eficiência e durabilidade das técnicas de conservação e reabilitação de pavimentos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC (2005). Caracterização do Estado dos Pavimentos. Curso de formação Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários. Simona Fontul. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Loup, F., Pouget, S., L’Huillier, J. M., Ber, J., Huon, P. et al. (2014). Biocold enrobé - semi-tiède pour l’entretien des couchés de roulement et du patrimoine routier. Revue générale des routes et de l’aménagement - Paris : RGRA - S.A.S., 2014. - ISSN 1290-256X. - n° 919 , pp. 73-76.
- Luz, A. F. (2011). Contribuição para a Modelação do Índice de Qualidade na Caracterização da Rede Rodoviária Nacional, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Maia, I. M. (2012). Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Vias de Comunicação. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto
- Menezes, M. V. (2008). Estudo das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.

- Milestones (2009). Pavement Condition Index 101. Ogra's Milestones. Toronto, Canadá.
- Minhoto, M. J. (2005). Consideração da Temperatura no Comportamento à Reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho.Minho.
- Miranda, H. M. B. (2008). Resistência à Fadiga de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Alta Percentagem de Borracha, tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Morgado, P. R. (2008). Conceção e Dimensionamento de Pavimentos em Blocos, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Intituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Nikolaides, A. F. (2008). Very thin surfacing: a beneficial and cost effective alternative to traditional surfacing materials for flexible pavements. International Conference onTransportInfrastructures. iSMARTi, international Society for Maintenance And Rehabilitation of Transport Infrastructures. Universidade do Minho. Minho.
- Pereira, P. A., Santos, L. P., Ferreira, A. (2006). Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Caráter Nacional. "Engenharia Civil". ISSN 0873-1152. , pp. 45-59.
- Pereira, R. X. (2010). Misturas Betuminosas Temperadas: Estudo da Interação Aditivo-Ligante. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Aveiro.
- Picado dos Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, M., Quadrado, I., Silvestre, S.(2004). Pavement Management System for Lisbon. Proceedings of the ICE - Municipal Engineer, Volume 157, Issue 3 , pp. 157-165.
- Picado dos Santos, L., Ferreira, A., Pereira, P., Azevedo, M. (2006). A Avaliação de Estratégias no Âmbito do Sistema de Gestão de Pavimentos da EP. IV Congresso Rodoviário Português. Estoril.
- Picado dos Santos, L. (2011). Gestão da Conservação de Pavimentos de Infraestruturas de Transportes. Instituto Superior Técnico-Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Lisboa.
- Picado dos Santos, L. (2013). Misturas Betuminosas, Materiais Elementares: Betume e Agregados e Tipos Correntes de Misturas Betuminosas. Apresentação da disciplina Vias de Comunicação do Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Picado dos Santos, L. (2012). Sistema de Gestão de Pavimentos Rodoviários. Apresentação em aula do Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Pimenta, J. G. (2008). Pavimento Urbano:Adequação ao Uso - Reflexões a Propósito do Espaço Público no Contexto do Centro Histórico de Lisboa. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Arquitetura. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa.
- Pinto, J. I. B. (2003). Caracterização do Estado Superficial de Pavimentos Rodoviários. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Porto.

- Recipav (2007). Cláusulas Técnicas Especiais para Mistura Betuminosa Rugosa, Cláusulas Técnicas Especiais para Mistura Betuminosa Aberta, Utilização BMB em Portugal de 1999 a 2007. Recipav, Engenharia e Pavimentos, S.A..Sines.
- Ribeiro, R. M. (2012). Aplicação de Mistura Betuminosa Aberta com Betume Modificado com Alta Incorporação de Borracha na Reabilitação de Pavimentos Rodoviários. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. Viseu.
- Rodrigues, M. F. (2012). Misturas Betuminosas com Incorporação de Borracha de Pneu – A Experiência Portuguesa. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana. Instituto Superior Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Sandberg, U., Kragh, J., Goubert, L., Bendtsen, H., Bergiers, A., Biligiri, K. P., Karlsson, R., Nielsen, E., Vansteenkiste, S. (2010). Optimization of Thin Asphalt Layers – State-of-the-Art Review. ERA-NET ROAD Project "Optimization of thin .
- Santos, O. F. (2014). Avaliação da Sensibilidade em Estudos de Gestão. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção Urbana. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Santos, A. (2007). Estudo da Eficácia na Redução do Ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes. Tese de Mestrado em Engenharia Rodoviária. Universidade do Minho. Minho.
- Santos, B. (2007). Modelação dos Custos dos Utentes na Gestão da Estrada. Dissertação apresentada à Universidade da Beira Interior para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Civil. Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Covilhã.
- Santos, M. J. (2009). Dimensionamento de Camadas de Reforço de Pavimentos Rodoviários Flexíveis. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Sardão, E., Capitão, S. D., Almeida, A., Santos, L. P. (2013). Atrito Superficial de Camadas Betuminosas que Incorporam Agregados de Seixo Britado. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Seixas, P. (2006). Microaglomerado Betuminoso a Frio uma Técnica de Referência, Comunicação apresentada no 4º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Shackel, B., Pearson, A. (2014). PA 04 - Concrete Segmental Pavements- Maintenance Guide. Concrete Masonry Association or Australia. Austrália.
- Silva, C. O. (2013). Execução e Manutenção de Pavimento Intertravado. Comunicação apresentada na Reunião de Pavimentação Urbana. Cuiabá, Associação Brasileira de Cimento Portland. Brasil.
- Silva, H. M. R., Oliveira, J., Couto, C. F. (2009). Avaliação do Desempenho de Misturas Betuminosas Temperadas. Artigo apresentado no XV Congresso Ibero- Latinoamericano del Asfalto. Lisboa.
- Silva, R. J. (2012). Contribuição para o Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Fendilhamento de Pavimentos Rodoviários. Contribuição para o Desenvolvimento de



- Modelos de Previsão de Fendilhamento de Pavimentos Rodoviários. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Specht, L. P., Rozek, T., Hirsch, F., Santos, R. T. (2007). Evaluation of Pavement Macrotexture by Sand Patch Technique. Artigo publicado em Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.10 , pp. 30-38.
- Stuchi, E. T. (2005). Interferências de Obras de Serviços de Água e Esgoto sobre o Desempenho de Pavimentos Urbanos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, Brasil.
- Tavares, M. J. (2013). Sistemas de Apoio à Conservação Corrente. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Covilhã: Universidade da Beira Interior.
- Transportation. (1999). Sealing and Filling of Cracks for Bituminous Concrete Pavements, Selection and Installation Procedures. Michigan Department of Transportation. Michigan Technological University. Michigan, USA.
- USIRF. (2006). Les Émulsions de Bitume (Vols. Routes de France - Section SFERB). Union des Syndicats de L'Industrie Française. Paris.
- Yildirim, Y., Qatan, A., Prozzi, J. (2006). Field Manual for Crack Sealing in Asphalt Pavements. Texas, Austin: Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin.

## NORMAS

- BS (2006). British Standards Institute. *BS 7941-1:2006- Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Sideway-force coefficient routine investigation machine.*
- BS (2000). British Standards Institute. *BS 7941-2:2000- Methods for measuring the skid resistance of pavement surfaces. Test method for measurement of surface skid resistance using the GripTester braked wheel fixed slip device.*
- BS (2003). British Standards Institute. *BS EN 13036-7 Road and airfield surface characteristics - Test methods - Part 7: Irregularity measurement of pavement courses: The straightedge test.*
- BS (2006). British Standards Institute. *BS EN 13108-2 Bituminous mixtures. Material specifications. Asphalt concrete for very thin layers.*
- CEN (2006). Comité Européen de Normalisation . *EN 12271 - Surface Dressing - Requirements.*
- CEN-9 (2006). Comité Européen de Normalisation. *EN 13108-9 (2006)-Bituminous mixtures. Material specifications. Asphalt concrete for Ultra-Thin Layers (AUTL)*
- CEN (2008). Comité Européen de Normalisation. *EN 12273 - Slurry surfacing. Requirements.*
- CEN (2005). Comité Européen de Normalisation. *EN 12274 - Slurry surfacing - Test methods.*
- CEN (2005). Comité Européen de Normalisation. *EN 12697-40:2005 "Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - In-situ drainability".*
- CEN (2004). Comité Européen de Normalisation. *EN 14188-1:Joint Fillers and Sealants - Part 1\_Specifications for Hot Applied Sealants.* Brussels.

- CEN (2003). Comité Européen de Normalisation. *EN 13036-4:2003 - "Method for measurement of slip/skid resistance of a surface-The pendulum test"*.
- IPQ (2011). Instituto Português da Qualidade. *NP EN 13036-1a 3 "Características superficiais de pavimentos de estradas e de aeroportos, Métodos de ensaio Parte 1: Medição da profundidade da macrotextura da superfície do pavimento através da técnica volumétrica da mancha"*.
- IPQ (2006). Instituto Português da Qualidade. *NP EN 13108-1:2006 - Misturas Betuminosas*.
- IPQ (2009). Instituto Português da Qualidade. *NP EN 1338 - Blocos prefabricados de betão para pavimentos. Requisitos e métodos de ensaio*.
- ISO (2013). International Organization for Standardization. *ISO 11819-1:2013 "Acoustics -- Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise -- Part 1: Statistical Pass-By method (SPB)"*.
- SÉTRA/LCPC. (2005). Service d'Études Techniques des Routes es Autoroutes et Laboratoire central des Ponts et Chaussées. *NF P 98-331 (2005) & Remblayage des tranchées et réfection des chaussées – Guide Technique*. França.

## SÍTIOS DA INTERNET

- Abc14. <http://www.abccuttingala.com/services.htm>, consultado em 17 de 11 de 2014
- Apa14. [http://www.apa-mi.org/porous\\_asphalt.php](http://www.apa-mi.org/porous_asphalt.php), consultado em 18 de 11 de 2014
- Arc14. <http://www.archipproducts.com/pt/produtos/> consultado em 20 de 03 de 2014
- Asp14. [www.asphaltinstitute.org](http://www.asphaltinstitute.org), consultado em 13 de 11 de 2014
- Aus14. [http://www.austroads.com.au/images/stories/T250\\_Sand\\_patch.pdf](http://www.austroads.com.au/images/stories/T250_Sand_patch.pdf), consultado em 05 de 05 de 2014
- Bah14. <http://www.bahlerbrothers.com/blog/bid/103099/The-Top-7-Problems-and-Solutions-for-Interlocking-Concrete-Pavers>, consultado em 21 de 10 de 2014
- Bra14. [http://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg\\_pub\\_det.cfm/lamas-asfalticas-convencionais-e-polimericas](http://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg_pub_det.cfm/lamas-asfalticas-convencionais-e-polimericas), consultado em 21 de 06 de 2014
- Cla14. [http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/winter2012/ce492/Modules/09\\_pavement\\_evaluation/09-7\\_body.htm](http://classes.engr.oregonstate.edu/cce/winter2012/ce492/Modules/09_pavement_evaluation/09-7_body.htm), consultado em 25 de 03 de 2014
- Con14. <http://www.concretetools.biz/3mtr-straightedge-with-wedges.html>, consultado em 29 de 11 de 2014
- Con14. [http://www.controls-group.com/eng/scheda-print.php?id\\_cat=asphaltbituminous-mixture&id\\_prod=mot-straightedge](http://www.controls-group.com/eng/scheda-print.php?id_cat=asphaltbituminous-mixture&id_prod=mot-straightedge), consultado em 27 de 04 de 2014
- Cpr14. <http://www.cprengenharia.com.br/equipamentos.php>, consultado em 15 de 04 de 2014
- Dot14. <http://www.dot.ca.gov/hq/maint/MTAG-CommonFlexiblePavementDistresses.pdf>, consultado em 25 de 03 de 2014
- Dpw14. <http://dpw.lacounty.gov/gmed/lacroads/TreatmentSlurrySeal.aspx>, consultado em 22 de 6 de 2014
- Enge14. <http://www.engenium.net/604/aderencia-em-pavimentos-rodoviaros-microtextura-e-macrotextura.html>, consultado em 5 de 11 de 2014

- Eur14. [http://194.224.183.13/euroconsultnt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=26:scrim-ii&catid=4&Itemid=40&lang=en](http://194.224.183.13/euroconsultnt/index.php?option=com_content&view=article&id=26:scrim-ii&catid=4&Itemid=40&lang=en), consultado em 27 de 04 de 2014
- Faa14. [https://faapaveair.faa.gov/\(A\(s1LfMWojzgEkAAAAOGJjZTdmMzgtMGNjOS00YWExLWIwY2ItNDgwNThhMTgzN2RknlaaZFSyCAyL6xmRnmU9gS\\_xs041\)\)/Help/default.htm?url=Documents%2Fcorrugation5.htm](https://faapaveair.faa.gov/(A(s1LfMWojzgEkAAAAOGJjZTdmMzgtMGNjOS00YWExLWIwY2ItNDgwNThhMTgzN2RknlaaZFSyCAyL6xmRnmU9gS_xs041))/Help/default.htm?url=Documents%2Fcorrugation5.htm), consultado em 30 de 03 de 2014
- Find14. <http://www.findlayirvine.com/products/grip-tester/griptester-for-airports>, consultado em 06 de 05 de 2014
- For14. <http://www.forestdrives.com/maintenance-and-repairs>, consultado em 30 de 03 de 2014
- Geo14. <http://www.georadary.pl/zastosowanie-georadarow-do-inwentaryzacji-infrastruktury-podziemnej-2.html>, consultado em 22 de 04 de 2014
- Gin14. <http://www.ginger-cebtp.com/enews/2013/01/enews- ginger-cebtp-ingenierie-routiere.html>, consultado em 06 de 05 de 2014
- Hig14. <http://www.highfrictionroads.com/hfs-testing/equipment-test-procedures-used/>, consultado em 10 de 05 de 2014
- Inr14. [http://inrua.blogspot.pt/p/o-inrua\\_20.html](http://inrua.blogspot.pt/p/o-inrua_20.html), consultado em 12 de 04 de 2014
- Jet14. <http://www.jetmaterials.com/product/other-bitumen-asphalt/radial-flow-falling-head-permeameter/>, consultado em 10 de 05 de 2014
- Jetp14. <http://www.jetpatcher.co.uk/process/>, consultado em 29 de 06 de 2014
- Joh14. <http://www.john-knapton.com/PermeablePavementTrial.html>, consultado em 30 de 03 de 2014
- Lga14. <http://www.lgam.info/pavement-condition-assessment-manual>, consultado em 13 de 11 de 2014
- Lne14. <http://www.lnec.pt/organizacao/dt/nit/perfilometro>, consultado em 25 de 04 de 2014
- New14. [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/magazine/8529964.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/magazine/8529964.stm), consultado em 29 de 06 de 2014
- Nyn14. <http://www.nynas.com/fr/Segment/Bitumen-for-paving-applications/France/Le-bitume-pour-les-applications-routieres/Guides-Nynas/Guides-des-techniques-a-froid-et-semi-tiedes/Enrobes-tiedes-et-semi-tiedes-developpement/>, consultado em 02 de 09 de 2014
- Pav14. <http://www.pavementinteractive.org/>, consultado em 23 de 03 de 2014
- Pavem14. <http://www.pavemanpro.com/>, consultado em 03 de 06 de 2014
- Pave14. <http://www.pavestech.com/our-equipment.php>, consultado em 10 de 05 de 2014
- Pavs14. [http://www.paveshare.org/uploads/1/0/3/3/10331488/8636867\\_orig.png](http://www.paveshare.org/uploads/1/0/3/3/10331488/8636867_orig.png), consultado em 30 de 11 de 2014
- Pavi14. <http://pavingatlanta.com/blog-0/?Tag=parking%20lot%20pavement>, consultado em 18 de 11 de 2014
- Por14. <http://www.portaldetecnologia.com.br/tags/bases/>, consultado em 12 de 04 de 2014
- Pot14. <http://www.potholepros.net/>, consultado em 28 de 06 de 2014
- Pre14. <http://www.presdouro.pt/>, consultado em 24 de 10 de 2014
- Pro14. [www.propavers.com](http://www.propavers.com), consultado em 23 de 09 de 2014,
- Ray14. <http://www.raytechinfrared.com/content/ray-tech-videos>, consultado em 28 de 6 de 2014

- San14. <http://www.sanestradas.pt/pt/pagina/18>, consultado em 22 de 06 de 2014
- Tec14. <http://www.tecnilab.pt/>, consultado em 06 de 05 de 2014
- Ter14. <http://www.terracon.com/2011/09/road-science/>, consultado em 18 de 11 de 2014
- Vec14. <http://vectrafrance.com/materiels-et-solutions/auscultation-des-chantiers/apl-mlpcR-uni-longitudinal>, consultado em 27 de 04 de 2014
- Vir14. <http://www.virginialandscapes.com/virginia-beach-icpi-pavers.php>, consultado em 20 de 03 de 2014
- Wdm14. <http://www.wdm.co.uk/equipment/3-equipment/3-scrim>, consultado em 06 de 05 de 2014
- Wir14. <http://www.wirtgen.de/en/technologies/cold-milling/operating-principle/>, consultado em 05 de 06 de 2014



## **ANEXOS**

## ANEXO I – Materiais, função e mecanismos de degradação das camadas de um pavimento e da sua fundação

Tabela A.1 - Materiais constituintes, função e principais mecanismos de degradação (Francisco, 2012)

| CAMADA  | DESIGNAÇÃO DO MATERIAL            | FUNÇÃO   | MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO   |
|---|-----------------------------------|--|--|
| SOLO DE FUNDAÇÃO  | Terreno natural                   | Suporte do pavimento (as suas características condicionam o dimensionamento)<br>Evitar deformação do solo<br>Homogeneidade das características mecânicas da fundação<br>Plataforma construtiva                     | Deformação permanente excessiva<br>Rotura dos taludes de aterro  |
|   | Solos selecionados                | Possibilidade de compactação das camadas sobrejacentes em adequadas condições<br>Impedir contaminação com finos<br>Evitar a ascensão da água por capilaridade  |  |
| GRANULARES  | LEITO                             |  |  |
|   | SUB-BASE                          | Proteção das camadas inferiores (durante a fase construtiva)<br>Proteção da base à subida de água capilar<br>Drenagem interna do pavimento<br>Camada estrutural<br>Resistência à erosão<br>Distribuição de tensões | Deformação permanente excessiva  |
|   | BASE                              |  | Deformação permanente excessiva (materiais não ligados)<br>Fendilhamento por fadiga (materiais tratados com ligantes)<br>Fendilhamento térmico (materiais tratados com ligantes hidráulicos)   |
| BETUMINOSAS (NP EN 13043 (IPQ, 2004) e NP EN 13108 (IPQ, NP EN 13108:2006 - Misturas de betuminas e agregados)) | BASE                              | Camada estrutural<br>Degradação das cargas induzidas pelo tráfego  |  |
|   | LIGAÇÃO (bin) REGULARIZAÇÃO (reg) | Garantir um bom comportamento estrutural<br>Impermeabilização<br>Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego   | Deformação permanente em condições excessivas de temperatura e tráfego<br>Fendilhamento por fadiga devida a uma má aderência à camada subjacente   |
|   | DESGASTE                          | Manter a adequada circulação do tráfego com conforto, economia e segurança<br>Drenagem ou impermeabilização<br>Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego   | Desgaste provocado pela ação do tráfego e condições climáticas<br>Deformação permanente em condições excessivas de temperatura e tráfego<br>Fendilhamento por ascensão das fendas das camadas subjacentes<br>Fendilhamento por fadiga devida a uma má aderência à camada subjacente<br>Fendilhamento térmico |



## ANEXO II – Níveis de degradação de pavimentos de blocos

Tabela A. 2 - Níveis de gravidade das degradações em pavimentos de blocos prefabricados de betão (adaptado de ICPI, 2007)

| Degradação                                 | Medição   | Gravidade | Descrição do nível de gravidade  |
|--|---|-----------|--|
| <b>Bloco Danificado (101)</b>              | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )<br>Blocos individuais não entram na medição. | Baixa (L) | Em bloco individual, existência de fenda e pequena área sujeita a abrasão e desagregação superficial   |
|  |   | Média (M) | Estado avançado de fendilhamento, abrasão e desagregação superficial                                   |
|  |   | Alta (H)  | Blocos partidos ou desintegrados   |
| <b>Depressões (102)</b>                    | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Profundidade de 5 até 15 mm  |
|  |   | Média (M) | Profundidade de 15 até 30mm  |
|  |   | Alta (H)  | Profundidade superior a 30mm   |
| <b>Confinamento lateral (103)</b>          | Largura ou comprimento afetado, em metro linear (m), medida em relação à zona do confinamento,                  | Baixa (L) | Aumento da dimensão da junta em 6 até 10 mm.<br>Não existe evidência de rotação de blocos              |
|  |   | Média (M) | Aumento da dimensão da junta em 11 até 15 mm.<br>Existe evidência de rotação de blocos                 |
|  |   | Alta (H)  | Aumento da dimensão da junta superior a 15 mm.<br>Grande evidência de rotação de blocos e assentamento |
| <b>Largura Excessiva das Juntas (104)</b>  | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Espessura média de 6 até 10 mm   |
|  |   | Média (M) | Espessura média de 11 até 15 mm  |
|  |   | Alta (H)  | Espessura média superior a 15 mm   |
| <b>Escalonamento de Blocos (105)</b>       | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Diferença de nível entre blocos de 4 até 6 mm  |
|  |   | Média (M) | Diferença de nível entre blocos de 6 até 10 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Diferença de nível entre blocos superior a 10 mm   |
| <b>Empolamento de blocos (106)</b>         | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Altura da elevação de 5 até 15 mm  |
|  |   | Média (M) | Altura da elevação de 15 até 30 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Altura da elevação superior a 30 mm  |
| <b>Arrastamento Horizontal (107)</b>       | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Deslocamento máximo dos blocos de 6 até 10 mm  |
|  |   | Média (M) | Deslocamento máximo dos blocos de 11 até 20 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Deslocamento máximo dos blocos superior a 20 mm  |
| <b>“Bombagem” ou subida de finos (108)</b> | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Profundidade sem material de juntas de 5 até 10 mm   |
|  |   | Média (M) | Profundidade sem material de juntas de 11 até 25 mm  |
|  |   | Alta (H)  | Profundidade sem material de juntas superior a 25 mm   |
| <b>Falta de blocos (109)</b>               | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Falta de blocos individuais  |
|  |   | Média (M) | Falta de múltiplos blocos (2 ou mais) numa área e a qualidade da viagem não é afetada                  |
|  |   | Alta (H)  | Falta de múltiplos blocos (2 ou mais) e a qualidade da viagem é afetada                                |
| <b>Reparações (110)</b>                    | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | A reparação está boa e a qualidade da viagem não é afetada   |
|  |   | Média (M) | A reparação está boa a razoável e a qualidade da viagem está a começar a deteriorar-se                 |
|  |   | Alta (H)  | A reparação está má e a qualidade da viagem é afetada  |
| <b>Rodeiras (111)</b>                      | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Profundidade de 5 até 15 mm  |
|  |   | Média (M) | Profundidade de 15 até 30 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Profundidade superior a 30 mm  |

## ANEXO III – Exemplo de cálculo do PCI

Na Tabela A. 3 apresentam-se os resultados de uma avaliação efetuada a duas vias, ou secções destas, das quais só se conhecem os valores do código [[cada um referente a um tipo de degradação (101, 102, ...) e a um nível de gravidade (L, M, H)], densidade e DV (Hein, et al., 2009).

Tabela A. 3 - Resultados de avaliação de pavimentos de blocos de betão (adaptado de Hein, et al., 2009)

| Via 1       |               |             | Via 2  |            |           |
|-------------|---------------|-------------|--------|------------|-----------|
| Código      | Densidade (%) | DV          | Código | Densidade  | DV        |
| 101L        | 0,63          | 0,35        | 104M   | 2,73       | 15,37     |
| 102L        | 0,41          | 3,37        | 108M   | 2,73       | 1,77      |
| <b>104L</b> | <b>3,81</b>   | <b>5,49</b> | 102L   | 0,40       | 3,35      |
| 105L        | 0,41          | 0,00        | 102M   | 0,93       | 10,97     |
| 108M        | 0,14          | 0,37        | 102H   | 0,93       | 22,27     |
|             |               |             | 110M   | 2,00       | 0,63      |
|             |               |             | 110H   | 6,67       | 0,74      |
|             |               |             | 110L   | 1,27       | 0,61      |
|             |               |             |        |            |           |
|             | <b>TDV</b>    | 9,6         |        | <b>TDV</b> | 55,7      |
|             | <b>CDV</b>    | 8,2         |        | <b>CDV</b> | 33,3      |
|             | <b>PCI</b>    | <b>92</b>   |        | <b>PCI</b> | <b>67</b> |

Para ilustrar a aplicação do método de cálculo do PCI, tome-se, por exemplo, o caso da via 1, no caso da degradação 104L (104 - largura excessiva de juntas; L - com baixa gravidade). A via tem uma área de 500m<sup>2</sup>, dos quais 19,05m<sup>2</sup> apresentam juntas com largura excessiva de baixa gravidade. Então a densidade= (19,05/500) x100 =3,81%. O DV determina-se através da curva de dedução para Largura Excessiva das Juntas. Assim, DV=5,49, conforme se ilustra na Figura A. 1. Para os restantes tipos de degradações o procedimento seria idêntico, obtendo-se os valores na coluna *Densidade* e, utilizando a curva aplicável a cada um dos tipos de degradações, os correspondentes valores de DV .

Para determinar o valor deduzido máximo corrigido, CDV, verifica-se que existem dois valores de DV superiores a 2, pelo que se segue procedimento descrito em 3.6.2:

1º Valores de DV ordenados de forma decrescente: 5,49; 3,37; 0,37; 0,35; 0;

2º O número de reduções possíveis é dado pelo parâmetro  $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - 5,49) = 9,68 \leq 10$ ;

3º O número total de DV é de 5, uma vez que apenas se observaram 5 tipos diferentes de degradações. Utilizam-se todos os DV para determinar CDV;

4º O valor  $q=2$  (número de DV>2);

5º Para TDV=9,6 (soma dos valores de DV) e  $q=2$  não existe valor de CDV (Figura A.2);

6º No processo iterativo (Tabela A.4), o valor  $DV=3,37$  passa a ser de 2 e  $q=1$ . Agora o valor de  $TDV=8,2$  ( $5,49+2+0,37+0,35+0$ ). Como  $q=1$ , o máximo CDV é o maior valor de CDV determinado, ou seja, 8,2 (Figura A.2).

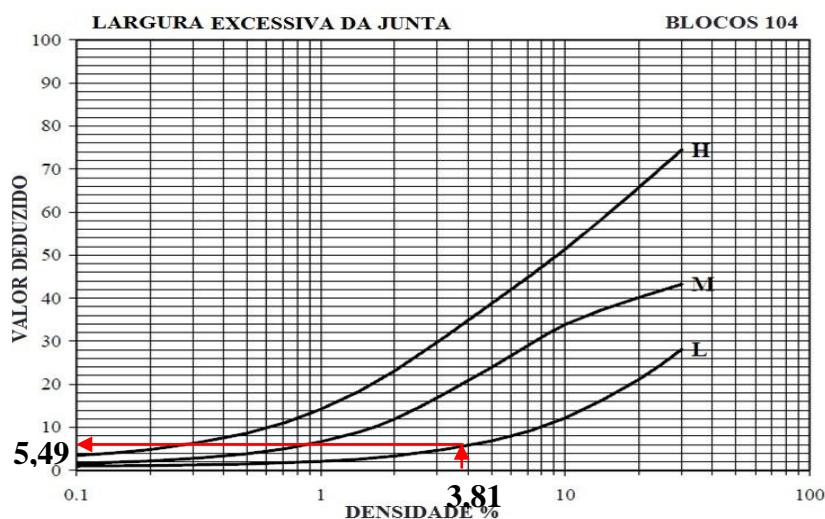


Figura A. 1 - Determinação do valor reduzido (ICPI, 2007)

Tabela A. 4 - Cálculo iterativo do CDV

| Iteração nº | Valores de DV |             |            |            |   | TDV | q | CDV |
|-------------|---------------|-------------|------------|------------|---|-----|---|-----|
| 1           | 5,49          | 3,37        | 0,37       | 0,35       | 0 | 9,6 | 2 |     |
| 2           | 5,49          | <b>2,00</b> | $0,37 < 2$ | $0,35 < 2$ | 0 | 8,2 | 1 | 8,2 |

Então para a via 1 o  $PCI = 100 - \text{Max CDV} = 100 - 8,2 = 92$ , correspondente a um pavimento com excelente qualidade superficial.

Relativamente à via 2, refere-se apenas a forma de cálculo após a obtenção de TDV, uma vez que o valor CDV é determinado através da Figura A.2 que faz a correspondência entre os parâmetros TDV, CDV e  $q$ . Assim, com  $TDV=55,7$  e  $q=4$  obtém-se o  $CDV=33,3$ , conforme se ilustra na Figura A. 2.

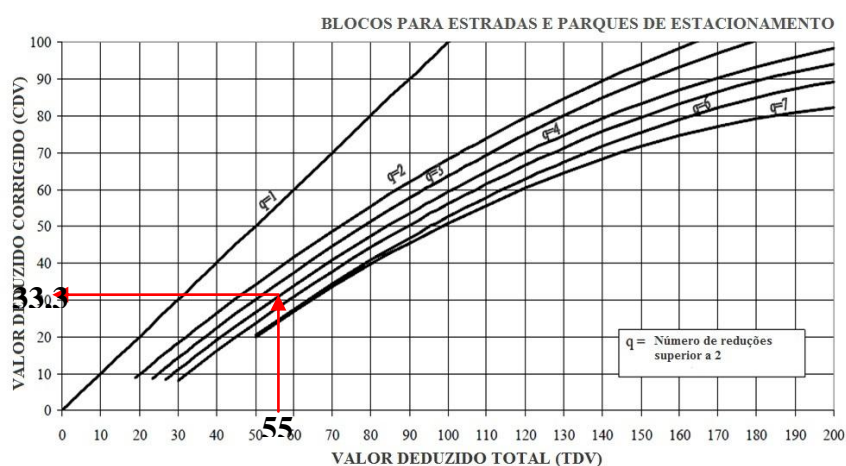


Figura A. 2- Determinação do CDV (ICPI, 2007)

Então para a via 2 o  $PCI = 100 - \text{CDV} = 100 - 33,3 = 67$ , correspondente a um pavimento com **boa qualidade superficial**.

## ANEXO IV – Ações de Conservação ou Manutenção

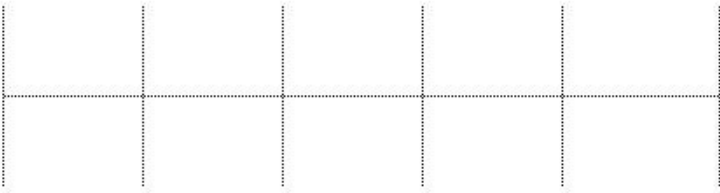
Tabela A. 5 - Ações de conservação ou manutenção consoante a patologia existente no pavimento de blocos (adaptado de Brett, 2014; Shackel, et al., 2014; ICPI, 2014)

| PATOLOGIA  | CAUSA PROVÁVEL  | EXTENSÃO  | AÇÕES DE MANUTENÇÃO/CONSERVAÇÃO  |
|--|---|---|--|
| <b>RODEIRAS</b>  | Má dimensionamento ou execução das camadas de base, sub-base e/ou fundação<br>Materiais aplicados de fraca qualidade<br>Compactação insuficiente  | Ao longo do pavimento   | Se a qualidade da viagem for afetada, levantar os blocos, retirar a almofada de areia, verificar as condições das camadas estruturais, substituir ou acrescentar material e compactar, executar nova almofada de areia, aplicar os blocos e compactar  |
| <b>DEPRESSÕES</b>  | Má drenagem, fraca qualidade dos materiais<br>Má execução do leito do pavimento<br>Subdimensionamento do pavimento, ações de corte sob o pavimento<br>Existência de peças com espessura variável  | Poucos blocos ou área extensa<br>Onde existem infraestruturas subterâneas | Levantar os blocos, retirar a almofada de areia, verificar as condições das camadas inferiores, substituir ou acrescentar material e compactar, executar a almofada de areia, aplicar os blocos e compactar  |
| <b>ESCALONAMENTO DE BLOCOS OU "FAULTING"</b>                       | Má dimensionamento ou má execução da almofada de areia, bombagem dos finos, conduzindo a espessuras variáveis desta camada<br>Inadequada granulometria dos agregados do material de fecho das juntas e escolha do formato do bloco                          | Blocos individuais ou grupos de blocos                                    | Salâncias $\leq 5$ mm, ignorar mas continuar a monitorizar a superfície<br>Salâncias $> 5$ mm, substituir blocos salâncias se o problema for a espessura dos blocos ou ajustar a dimensão da camada de base para que após compactação, os blocos fiquem nivelados  |
| <b>EMPOLAMENTO DOS BLOCOS OU "HEAVES"</b>                          | Ciclo de gelo-degelo da água existente nas camadas inferiores do pavimento<br>Instabilidade das camadas estruturais, mau dimensionamento<br>Existência de depressões e rodéias nas proximidades, e de raízes de árvores                                     | Áreas localizadas ou a generalidade do pavimento                          | Diferenças de nível $\leq 10$ mm, levantar blocos apenas do ponto de vista estético, regularizar a almofada de areia e recolocar os blocos<br>Diferenças de nível $> 10$ mm, levantar blocos, regularizar a almofada de areia e recolocar os blocos  |
| <b>ARRASTAMENTO HORIZONTAL OU "SHOVING"</b>                        | Consequência das forças horizontais, provocadas pelo tráfego (em zonas de viragem, travagens, entre outros)<br>Inadequada granulometria dos agregados do material de fecho das juntas e escolha do formato do bloco<br>Inexistência de confinamento lateral | Poucos blocos ou área extensa   | Deslocamento $\leq 10$ mm, levantar blocos do ponto de vista estético, regularizar a almofada de areia e recolocar os blocos<br>Deslocamento $> 10$ mm, levantar blocos, regularizar a almofada de areia e recolocar os blocos, com novo formato se necessário, para permitir o travamento dos mesmos      |
| <b>CONFINAMENTO LATERAL</b><br><b>LARGURA EXCESSIVA DAS JUNTAS</b> | Inadequado ou inexistente confinamento lateral e tráfego intenso, que provocam o alargamento das juntas<br>Falta de material nas juntas<br>Má execução em obra  | Poucos blocos ou área extensa   | Alargamento $\leq 10$ mm, levantar blocos apenas do ponto de vista estético, regularizar a almofada de areia e recolocar os blocos<br>Alargamento $> 10$ mm, levantar blocos, regularizar a almofada de areia e recolocar os blocos, com novo formato se necessário, para permitir o travamento dos mesmos |
| <b>BLOCO DANIFICADO</b>  | Blocos fendilhados  | Poucos blocos e isolados  | Substituir apenas do ponto de vista estético   |
|  | Blocos partidos   | Blocos individuais ou grupos de blocos                                    | Substituição dos blocos  |
|  | Blocos lascados   | Blocos individuais  | Substituir blocos do ponto de vista estético<br>Se as juntas tiverem dimensão $< 2$ mm, recolocação dos blocos com juntas de 2 até 5 mm  |
|  |   | Grupos de blocos  | Se as juntas tiverem dimensão $< 2$ mm, recolocação dos blocos com juntas de 2 até 5 mm  |
|  | Blocos com desgaste ou abrasão  | Blocos individuais ou grupos de blocos                                    | Substituir do ponto de vista estético<br>Recolocação dos blocos ou troca da face com dano  |
| <b>"BOMBAGEM" OU SUBIDA DOS FINOS</b>                              | Má execução da almofada de areia (granulometria incorreta)<br>Erosão pela água<br>Bombagem dos finos<br>Perda do material das juntas<br>Má condições de drenagem  | Poucos blocos ou área extensa   | Profundidade $\leq 10$ mm, ignorar mas continuar a monitorizar a superfície<br>Profundidade $> 10$ mm, preencher as juntas com novo material e vibrar/compactar a superfície<br>Verificar as condições de drenagem<br>Se necessário proceder à selagem do pavimento  |
| <b>VEGETAÇÃO NAS JUNTAS</b>  | Sementes que assentam nas juntas  |   | Extração da vegetação manualmente com recurso a ferramentas pontiagudas ou utilização de herbicida em tempo seco (sem chuva durante 48 horas)  |

Fátima Isabel Baptista Videira



## ANEXO VI – Ficha de Levantamento de Degradações em Pavimentos de Blocos

| FICHA DE LEVANTAMENTO DE DEGRADAÇÕES<br>PAVIMENTOS DE BLOCOS   |     |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|--|-----|----------------|----------------|--------------------------|---|----|---|---|---|---|---|---|---|--|-----|-----|--|-------|--|--|-------|--------|--|--|----------------|---------|--|--|-------------|
| VIA: _____   |     | TIPO: _____    |                | FOLHA: _____ de _____    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| SECÇÃO: _____  |     | SENTIDO: _____ |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| INÍCIO (m): _____  |     | X: _____       |                | DATA: _____              |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| FIM (m): _____   |     | Y: _____       |                | LARGURA MÉDIA (m): _____ |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| PATOLOGIAS   | Si  | 20             |                | 20                       |   | 20 |   | 4 |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | G   | C              | L              | C                        | L | C  | L | C | L | C   | L | C | L |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Bloco danificado   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Depressões   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Confinamento lateral   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Largura excessiva da junta   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Escalonamento dos blocos   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Empolamento dos blocos   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Arrastamento horizontal dos blocos   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| "Bombagem" ou subida dos finos   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Falta de blocos  | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Reparações   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Rodeiras   | L   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | M   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
|  | H   |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| <b>ESBOÇO:</b><br> |     |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| <b>COMENTÁRIOS:</b><br><br>  |     |                |                |                          |   |    |   |   |   | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Esq</th> <th>Dir</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berma</td> <td></td> <td></td> <td>P INP</td> </tr> <tr> <td>Valeta</td> <td></td> <td></td> <td>Mcl Arq IS INR</td> </tr> <tr> <td>Passeio</td> <td></td> <td></td> <td>Sim INcl...</td> </tr> </tbody> </table> <p>P-Pavimentada INP- Não pavimentada INR- Não reutilizada IMC- Moia canal Arq- Argamassa IS- Sumidouro</p> |   |   |   |  | Esq | Dir |  | Berma |  |  | P INP | Valeta |  |  | Mcl Arq IS INR | Passeio |  |  | Sim INcl... |
|  | Esq | Dir            |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Berma  |     |                | P INP          |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Valeta   |     |                | Mcl Arq IS INR |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| Passeio  |     |                | Sim INcl...    |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |
| <b>TÉCNICO:</b> _____  |     |                |                |                          |   |    |   |   |   |   |   |   |   |  |     |     |  |       |  |  |       |        |  |  |                |         |  |  |             |

## **ANEXO VII – Proposta de Manual**





# MANUAL DE CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS PARA PEQUENAS REDES RODOVIÁRIAS MUNICIPAIS



# **Manual de Conservação de Pavimentos para Pequenas Redes Rodoviárias Municipais**

**Autores**



---

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS .....                                 | 7  |
| 1.1. Função de um Pavimento.....                                     | 7  |
| 1.2. Constituição de Pavimentos Flexíveis .....                      | 7  |
| 1.3. Constituição de Pavimentos de Blocos .....                      | 10 |
| FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES.....   | 15 |
| 2.1. Pavimentos Flexíveis.....                                       | 15 |
| 2.2. Pavimentos de Blocos .....                                      | 18 |
| AValiação DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO .....                             | 21 |
| 3.1. Inventário da Rede Rodoviária Municipal .....                   | 21 |
| 3.2. Levantamento Visual das Degradações.....                        | 22 |
| 3.2.1. Catálogo de Degradações.....                                  | 22 |
| 3.2.2. Observação Visual das Degradações .....                       | 23 |
| 3.3. Levantamento das Características Funcionais.....                | 24 |
| 3.3.1 Ensaio da Mancha de Areia .....                                | 26 |
| 3.3.2 Ensaio do Pêndulo Britânico.....                               | 26 |
| 3.3.3 Régua de Medição de 3 metros .....                             | 27 |
| 3.3.4 Outros Equipamentos e Métodos .....                            | 27 |
| 3.4. Níveis de Gravidade das Degradações .....                       | 29 |
| 3.5. Irregularidade Longitudinal do Pavimento (IRI) .....            | 31 |
| 3.6. Avaliação da Qualidade de Pavimentos Flexíveis .....            | 31 |
| 3.7. Avaliação da Qualidade de Pavimentos de Blocos .....            | 32 |
| CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....                            | 35 |
| 4.1. Técnicas de Conservação Parcial.....                            | 35 |
| 4.1.1. Reparações Localizadas.....                                   | 36 |
| 4.1.2. Selagem Individual de Fendas .....                            | 37 |
| 4.1.3. Fresagem da Camada de Desgaste.....                           | 39 |
| 4.1.4. Abertura e Tapamento de Valas .....                           | 39 |
| 4.2. Técnicas de Conservação Contínua .....                          | 42 |
| 4.2.1. Revestimentos Superficiais Betuminosos.....                   | 43 |
| 4.2.2. Microaglomerado Betuminoso a Frio ou “Macro-seal” .....       | 45 |
| 4.2.3. Lama Asfáltica ou “Slurry-seal”.....                          | 46 |
| 4.2.4. Membrana de Proteção ou “Fog-seal” .....                      | 46 |
| 4.2.5. Microbetão Betuminoso rugoso ou AC 10 surf ligante .....      | 47 |
| 4.2.6. Argamassa Betuminosa ou AC 14 surf ligante.....               | 47 |
| 4.2.7. Betão Betuminoso Drenante ou “Porous Asphalt” .....           | 47 |
| 4.3. Seleção da Técnica de Conservação .....                         | 48 |
| 4.4. Técnicas Inovadoras.....  | 51 |
| 4.4.1. Conservação Parcial .....                                     | 51 |
| ▪ Reparação localizada com painéis radiantes de infravermelhos ..... | 51 |

---

|        |   |    |
|--------|---|----|
| ▪      | Reparação localizada com projeção de mistura betuminosa ou JetPatcher .....                                   | 51 |
| 4.4.2. | Conservação Contínua .....  | 52 |
| ▪      | Camadas betuminosas finas e ultra finas.....  | 52 |
| ▪      | Camada betuminosa com betume modificado com alta percentagem de<br>granulado de borracha (BMBAP) .....        | 53 |
| ▪      | Mistura betuminosa semi-temperada .....   | 54 |
|        | CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BLOCOS .....   | 57 |
|        | GESTÃO DA CONSERVAÇÃO .....   | 61 |
| 6.1.   | Avaliação de Estratégias .....  | 61 |
| 6.1.1. | Modelo Determinístico da American Association of State Highway and<br>Transportation Officials (AASHTO) ..... | 61 |
| 6.1.2. | Método Probabilístico Baseado nas Cadeias de Markov .....   | 62 |
| 6.1.3. | Metodologia Simplificada do Asphalt Institute .....   | 64 |
| 6.2.   | Sistema de Informação Geográfica - SIG .....  | 66 |
|        | CASOS PRÁTICOS .....  | 69 |
| 7.1    | Pavimentos de Vila Nova de Poiares .....  | 69 |
| 7.1.1  | Inventário e Levantamento das Características Superficiais .....  | 69 |
| 7.1.2  | Avaliação da Qualidade do Pavimento Flexível .....  | 73 |
| 7.1.3  | Avaliação da Qualidade do Pavimento de Blocos Prefabricados de Betão .....                                    | 74 |
| 7.1.4  | Avaliação da Estratégias .....  | 77 |
| 7.1.5  | Conservação de Pavimentos Flexíveis.....  | 77 |
| 7.1.6  | Conservação de Pavimentos de Blocos.....  | 77 |
| 7.2    | Pavimentos de Coimbra .....   | 78 |
| 7.2.1  | Inventário e Levantamento das Características Superficiais .....  | 78 |
| 7.2.2  | Avaliação da Qualidade .....  | 79 |
| 7.2.3  | Avaliação de Estratégias .....  | 81 |
| ▪      | Evolução do Índice de Qualidade (IQ) Efetuada pelo Método da AASHTO .....                                     | 81 |
| ▪      | Evolução do Índice de Qualidade Efetuada Através de Cadeias de Markov .....                                   | 87 |
|        | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 91 |

## CARACTERÍSTICAS DOS PAVIMENTOS

### 1.1. Função de um Pavimento

Um pavimento rodoviário é uma estrutura composta por camadas de diferentes espessuras, apoiada sobre o solo de fundação, cuja principal função é assegurar a circulação de veículos com conforto, segurança e economia, durante a sua vida útil. É a parte da obra rodoviária mais exposta às ações agressivas dos veículos e dos agentes climáticos.

As camadas dos pavimentos têm geralmente resistência decrescente à medida que estão mais afastadas da superfície, acompanhando a redução dos esforços em profundidade. A camada superficial, genericamente constituída por materiais estabilizados com ligantes (hidrocarbonados ou hidráulicos, e/ou blocos de rocha ou betão, tem como funções assegurar as características funcionais do pavimento (atrito, textura adequada, regularidade) e impermeabilidade do pavimento. O corpo do pavimento, construído sobre a fundação, pode incluir materiais granulares e/ou materiais ligados com ligantes hidráulicos ou com betume asfáltico, tendo como função suportar e distribuir as cargas exercidas sobre o mesmo.

As solicitações que influenciam o comportamento de um pavimento rodoviário resultam, por um lado, da aplicação das cargas dos veículos, as quais atuam verticalmente na zona de contacto dos rodados com o pavimento, e tangencialmente na interface pneu-pavimento e, por outro lado, da ação dos agentes climáticos, especialmente a temperatura e a água.

### 1.2. Constituição de Pavimentos Flexíveis

O funcionamento estrutural de um pavimento flexível depende das características dos materiais constituintes de cada camada e das características das suas interfaces.

O Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional define duas estruturas para pavimentos flexíveis: pavimentos com base betuminosa e pavimentos com base granular.

As camadas superiores betuminosas ligadas (com coesão), em função da estrutura do pavimento são a camada de desgaste, a camada de ligação/regularização e a camada de base (quando ligada), as quais são compostas por agregados e ligantes hidrocarbonados. As camadas devem ter um considerável módulo de deformabilidade e resistência à tração, à compressão e ao corte. Esta resistência depende principalmente das propriedades dos agregados e do betume que constituem as misturas, das variações de temperatura, da ação da água e da ação do tráfego.

As camadas inferiores de base e sub-base não ligadas, cuja resistência depende em grande parte do atrito entre as partículas, são compostas por material granular e/ou solos selecionados e, juntamente com o solo de fundação, conferem ao pavimento resistência às tensões de compressão e de corte. Esta resistência depende das propriedades das



---

partículas e da mistura de agregados (dimensões, forma, teor em água), os quais influenciam o escorregamento interpartículas, ou seja, os movimentos de rotação e translação entre os constituintes. Através da aplicação de regas de colagem entre as camadas betuminosas garante-se o seu funcionamento solidário. Quando submetidas à ação dos rodados dos veículos ocorre um nível máximo de tensões de compressão na face superior da camada de desgaste, desenvolvendo-se tensões de tração na zona inferior da estrutura, com valores tendencialmente máximos na face inferior da camada mais profunda.

Nas camadas granulares os esforços de compressão são máximos à superfície e diminuem em profundidade, dependendo das características resistentes das camadas do pavimento.

O funcionamento estrutural de um pavimento flexível depende das características dos materiais constituintes de cada camada e das características das suas interfaces. Na Tabela 1. 1, apresenta-se um resumo dos materiais constituintes de cada camada de um pavimento, a sua função e os principais mecanismos de degradação.

Tabela 1. 1 - Materiais constituintes, função e principais mecanismos de degradação das camadas de um pavimento e da sua fundação

| CAMADA  |  | DESIGNAÇÃO DO MATERIAL            | FUNÇÃO  | MECANISMOS DE DEGRADAÇÃO  |
|---|--|-----------------------------------|---|---|
| SOLO DE FUNDAÇÃO  |  | Terreno natural                   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Suporte do pavimento (as suas características condicionam o dimensionamento)</li><li>• Evitar deformação do solo</li><li>• Homogeneidade das características mecânicas da fundação</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Deformação permanente excessiva</li><li>• Rotura dos taludes de aterro</li></ul>  |
| GRANULARES  |  | LEITO                             | <ul style="list-style-type: none"><li>• Plataforma construtiva</li><li>• Possibilidade de compactação das camadas sobrejacentes em adequadas condições</li><li>• Impedir contaminação com finos</li><li>• Evitar a ascensão da água por capilaridade</li></ul>  |   |
|   |  | SUB-BASE                          | <ul style="list-style-type: none"><li>• Proteção das camadas inferiores (durante a fase construtiva)</li><li>• Proteção da base à subida de água capilar</li><li>• Drenagem interna do pavimento</li><li>• Camada estrutural</li><li>• Resistência à erosão</li><li>• Distribuição de tensões</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Deformação permanente excessiva</li></ul>   |
|   |  | BASE                              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Deformação permanente excessiva (materiais não ligados)</li><li>• Fendilhamento por fadiga (materiais tratados com ligantes)</li><li>• Fendilhamento termo-higrométrico (materiais tratados com ligantes hidráulicos)</li></ul>                                 |   |
| BETUMINOSAS (NP EN 13043 (IPQ, 2004) e NP EN 13108 (IPQ, NP EN 13108:2006 - Misturas betuminosas a quente e a frio) |  | BASE                              | <ul style="list-style-type: none"><li>• Camada estrutural</li><li>• Degradação das cargas induzidas pelo tráfego</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Deformação permanente em condições excessivas de temperatura e tráfego</li><li>• Fendilhamento por fadiga devida a uma má aderência à camada subjacente</li></ul> |
|   |  | LIGAÇÃO (bin) REGULARIZAÇÃO (reg) | <ul style="list-style-type: none"><li>• Garantir um bom comportamento estrutural</li><li>• Impermeabilização</li><li>• Distribuição das tensões induzidas pelo tráfego</li></ul>  |   |
|   |  |                                   |   | DESGASTE  |

---

### 1.3. Constituição de Pavimentos de Blocos

Os pavimentos de blocos podem ser construídos com elementos de pedra natural ou com blocos prefabricados em betão. Estas técnicas de construção viária têm origem na calçada do antigo Império Romano, tendo mantido alguma importância ao longo do tempo, pela necessidade de utilização destes pavimentos em projetos de requalificação urbana.

A calçada é um pavimento cuja camada superficial ou de desgaste é formada por blocos de pedra natural, usualmente, de granito ou basalto, os quais têm boa resistência mecânica, ou de calcário que tem geralmente fraca resistência à abrasão, ou produzidos a partir da rocha predominante na região.

Este tipo de soluções de pavimentação procura, por um lado, responder à necessidade de conciliar o cariz histórico das zonas urbanas e, por outro lado, adequar-se em termos de circulação viária, principalmente nas zonas urbanas centrais.

A aplicação da rocha natural, em diversos formatos, é uma solução de pavimentação comum em Portugal, o pavimento com seixos e blocos rolados, e o lajedo são exemplos disso, tal como se mostra na Ilustração 1. 1.



Ilustração 1. 1 - Seixo rolado na Rua da Alegria em Coimbra (esquerda) e numa das ruas da Madeira (centro) e lajedo na Rua Ferreira Borges em Coimbra (direita)

As camadas de base e sub-base deste tipo de pavimento são constituídas por material granular e/ou material granular estabilizado com ligantes hidráulicos (betão pobre, betão de elevada resistência, solo-cimento) que suportam as tensões distribuídas pela camada de desgaste, resistir às tensões induzidas pelas camadas sobrejacentes e distribuí-las para a fundação, de modo a reduzir as deformações permanentes.

A resistência mecânica destes pavimentos depende da estrutura e disposição dos blocos à superfície, devendo ser confinados para resistir melhor aos esforços horizontais. Os blocos da calçada podem ser dispostos em quadrado ou fiada, malhete, sextavado ou empedrado, ou calçada portuguesa, conforme se representa na Ilustração 1. 2.

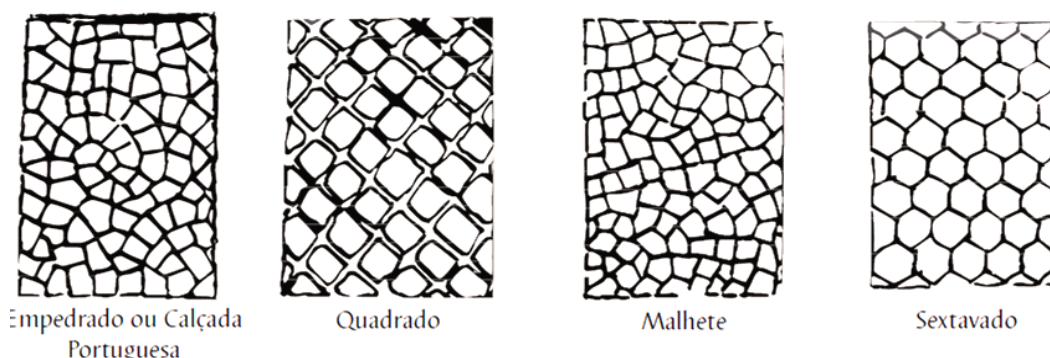


Ilustração 1. 2 - Disposição dos blocos da calçada portuguesa

A calçada contribui para moderar a velocidade de circulação rodoviária, uma vez que o elevado número de juntas à superfície proporciona uma deslocação ruidosa e de médio conforto rodoviário.

### 1.3.1. Calçada Portuguesa

A calçada portuguesa, ou calçadinha, é uma herança histórica da cultura e da tecnologia de construção dos Romanos. A tecnologia utilizada teve origem em Portugal, em meados do século XIX, sendo uma forma tradicional de revestimento com blocos de pedra de forma irregular, geralmente de calcário ou basalto, ou da rocha predominante na região. Hoje é considerada um fenómeno artístico, estando presente em praças, parques e artérias principais de zonas centrais urbanas de todo o país, com padrões decorativos devido ao contraste entre blocos de distintas cores.

Este tipo de pavimentos é mais utilizado em zonas de circulação pedonal. No entanto é também utilizado em ruas com circulação rodoviária, em vias com trânsito condicionado, como é o caso da rua Visconde da Luz, em Coimbra, conforme se apresenta na Ilustração 1. 3.



Ilustração 1. 3 - Calçadinha na Rua Visconde da Luz (esquerda), Largo D. Dinis (centro) e Calçada Martim de Freitas (direita)

A tipologia do bloco a eleger depende em muito do tipo de pavimento a que se destina a calçada. Para pavimentar vias de circulação pedonal são recomendáveis blocos com dimensão da ordem de 4 a 7 cm. Para pavimentar vias com circulação de veículos normalmente aplicam-se blocos com dimensão da ordem de 8 a 13 cm.

### 1.3.2. Blocos Prefabricados de Betão (BPB)

Estes blocos são elementos prefabricados de betão, produzidos num leque cada vez maior de formas, dimensões (espessura de 55mm até 120 mm), cores e acabamentos. Apresentam-se algumas imagens de exemplares na Ilustração 1. 4.

A norma NP EN 1338:2009 contém os requisitos e métodos de ensaio aplicáveis a blocos prefabricados de betão para pavimentos. Estes elementos são versáteis, podendo ser utilizados em pavimentos pedonais ou rodoviários.



Ilustração 1. 4 – Blocos prefabricados de betão

Os pavimentos compostos com BPB podem ter uma rigidez global variável, o que depende da base ser estabilizada com ligantes hidráulicos ou ser constituída por materiais granulares não tratados. Estes pavimentos têm bom desempenho em termos de aderência, resistência e regularidade da superfície, podendo ter bastante económicos. Geralmente, com uma superfície antiderrapante, permitem uma boa drenagem das águas pluviais e, ao mesmo tempo, evitam a completa impermeabilização do solo, pois as juntas possibilitam alguma infiltração de água.

A disposição do BPB condiciona a capacidade de distribuição dos esforços da camada de desgaste. Na Tabela 1. 2 apresenta-se a disposição dos blocos.

Tabela 1. 2 – Disposição dos blocos prefabricados de betão

| ESPINHA |  | TRAMA | FILEIRAS |  |
|---------|--|-------|----------|--|
|         |  |       |          |  |
|         |  |       |          |  |

A disposição em espinha consiste na colocação de pares de peças com ângulos de 45° a 90°, em relação ao alinhamento da via. Deve ser utilizada para zonas de tráfego intenso, uma vez que favorece o travamento horizontal, evitando assim o movimento das peças.

A disposição em fileiras perpendiculares ao sentido do tráfego, as peças são colocadas paralelamente entre si, com juntas lineares, só deve ser utilizada em vias com baixo tráfego de pesados e em locais sem viragens e travagens/acelerações.

A disposição em trama consiste na colocação de pares de peças perpendicularmente e é mais utilizado em zonas pedonais.

O travamento confere aos blocos de betão a capacidade de transmitir as cargas superficiais e manter as tensões no leito do pavimento dentro dos limites admissíveis. O travamento total obtém-se com a utilização do pavimento, uma vez que a camada de desgaste adquire maior rigidez. A Ilustração 1. 5 representa os tipos de travamento em pavimentos de BPB.

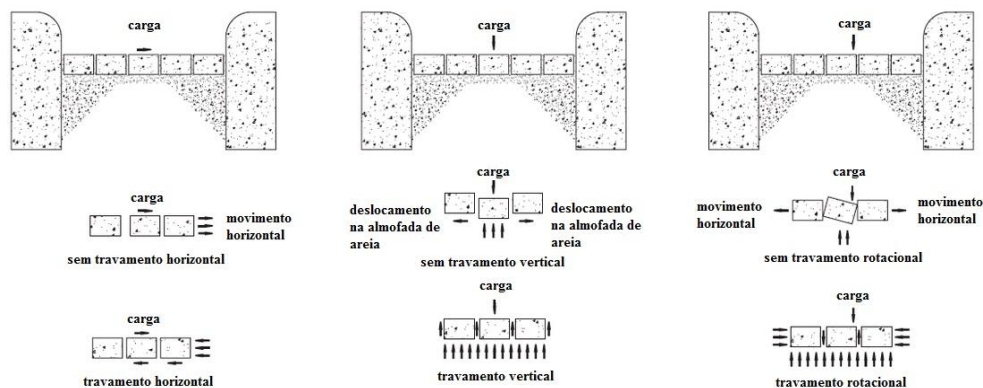


Ilustração 1. 5 - Tipos de travamento em pavimentos de BPB

O travamento horizontal impede o movimento horizontal dos blocos em torno do seu eixo vertical. Aquele movimento pode ser provocado pela frequência e tipo de tráfego, especialmente em locais de travagem ou aceleração e em curvas.

O travamento vertical impede o movimento vertical dos blocos, através da resistência ao corte vertical. O esforço é absorvido pelas juntas entre os blocos e pela capacidade estrutural das camadas inferiores do pavimento.

O travamento rotacional impede o movimento rotacional dos blocos em torno de seu eixo vertical.

Os formatos de contorno irregulares, especialmente os que têm encaixes reentrantes, tendem a apresentar menor deformação permanente vertical porque distribuem os esforços para as peças vizinhas. Os pavimentos revestidos por blocos de maior espessura tendem a apresentar menor deformação permanente vertical e também maior travamento rotacional. Os pavimentos com BPB podem ser reparados sem deixar marcas.

---

---



## FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES

As degradações desenvolvem-se devido aos esforços instalados nas diferentes camadas do pavimento. As degradações podem ser agrupadas em famílias: deformações, fendilhamento, desprendimento e movimento de materiais. As famílias de degradações dos pavimentos flexíveis e de blocos consideradas neste manual apresentam-se na Tabela 2. 1.

O processo de evolução das degradações apoia-se numa cadeia de consequências; uma degradação evolui ou dá origem a novos tipos de degradações, os quais, por sua vez, interferem com as características das degradações iniciais, aumentando a percentagem de patologias existentes, tanto em extensão como em gravidade.

Tabela 2. 1 - Famílias de degradações de pavimentos flexíveis e de blocos (adaptado de Branco, et al., 2011)

| FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES                 | TIPOS DE DEGRADAÇÕES                  |  |   |
|---|---------------------------------------|--|---|
|   | PAVIMENTOS FLEXÍVEIS                  |  | PAVIMENTOS DE BLOCOS  |
| DEFORMAÇÕES                             | Abatimento                            | Longitudinal (no eixo ou berma)                | Depressões ou abatimento<br>Rodeiras<br>Escalonamento dos blocos<br>Empolamento dos blocos<br>Reparações                                    |
|   |                                       | Transversal                                    |   |
|   | Deformações localizadas<br>Ondulações |  |   |
|   | Rodeiras                              | Grande raio (camadas inferiores)               |   |
|   |                                       | Pequeno raio (camadas superiores)              |   |
| FENDILHAMENTO                           | Fendas                                | Transversais                                   |   |
|   |                                       | Longitudinais (no eixo ou berma)               |   |
|   |                                       | Pele de Crocodilo (malha fina ou malha grossa) |   |
| DESPRENDIMENTO E MOVIMENTO DE MATERIAIS | Desagregação superficial              |  | Bloco danificado<br>Falta de blocos<br>Confinamento lateral<br>Espessura excessiva das juntas<br>Arrastamento horizontal<br>Subida de finos |
|   | Cabeça de gato                        |  |   |
|   | Pelada                                |  |   |
|   | Ninhos ou covas                       |  |   |
|   | Polimento dos agregados               |  |   |
|   | Exsudação                             |  |   |
|   | Subida de finos                       |  |   |
|   | Desprendimento dos agregados          |  |   |

### 2.1. Pavimentos Flexíveis

Quando não se efetua uma conservação adequada, as degradações nos pavimentos flexíveis evoluem até à ruína completa do pavimento. Esta evolução geralmente é consequência da inadequação do material para o uso pretendido, podendo ter origem também na ação do tráfego e/ou dos agentes climáticos. Além disso, podem contribuir para o desenvolvimento de patologias as deficiências de projeto, a drenagem mal concebida, os materiais de baixa qualidade, a má execução em obra, entre outros.

Os principais fatores que contribuem para a formação e desenvolvimento das degradações em pavimentos flexíveis, sintetizam-se na Tabela 2. 2.

Tabela 2. 2 - Classificação das relações entre as degradações e os fatores de degradação (Branco, et al., 2011)

| DEGRADAÇÕES              | FATORES DE DEGRADAÇÃO |   |                                   |  |  |  |                         |                                    |                          |                  |
|--------------------------|-----------------------|---|-----------------------------------|--|--|--|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------|
|                          | Condições de drenagem | Subdimensionamento das camadas inferiores | Capacidade de suporte da fundação | Camadas estruturais de reduzida capacidade | Ligação entre a camada de base e de desgaste | Subdimensionamento da camada de desgaste | Qualidade dos materiais | Deficiências de fabrico e execução | Agressividade do tráfego | Ações Climáticas |
| Deformações              | ***                   | **  | ***                               | ***  |  | *  | *                       | **                                 | *                        | ***              |
| Rodeiras                 | ***                   | **  | ***                               | ***  |  | *  | **                      | *                                  | **                       | ***              |
| Fendas                   | **                    | **  | **                                | ***  | **   | **                                       | ***                     | **                                 | ***                      | ***              |
| Pele de Crocodilo        | **                    | **  | **                                | ***  | **   | **                                       | ***                     | **                                 | ***                      | ***              |
| Pelada                   |                       | *   |                                   | **   | ***  | ***                                      | **                      | **                                 | ***                      | **               |
| Ninhos ou covas          |                       | *   |                                   | ***  | **   | **                                       | ***                     | ***                                | **                       | ***              |
| Cabeça de gato           |                       |   |                                   | **   |  |  | ***                     | **                                 | ***                      | **               |
| Desagregação superficial |                       |   |                                   | **   |  |  | ***                     | ***                                | **                       | **               |
| Exsudação                |                       |   |                                   |  |  |  | ***                     | **                                 | ***                      |                  |

|     |                  |    |            |   |                  |
|-----|------------------|----|------------|---|------------------|
| *** | Muito importante | ** | Importante | * | Pouco importante |
|-----|------------------|----|------------|---|------------------|

As deformações têm origem nas camadas granulares e no solo de fundação, ou nas camadas betuminosas. Incluem-se nesta família as rodeiras, os abatimentos longitudinais ou transversais à via, as ondulações e as deformações localizadas.

O fendilhamento de uma forma geral é a primeira patologia que se manifesta, normalmente como resultado da repetição de esforços de tração nas camadas betuminosas que diminuem a qualidade estrutural do pavimento. Nesta família de patologias integram-se as fendas longitudinais, as fendas transversais e a pele de crocodilo.

O desprendimento e movimento de materiais têm origem nas camadas superficiais do pavimento. Integram-se nesta família a desagregação superficial, a cabeça de gato, as peladas, os ninhos, a subida de finos, a exsudação do betume, o desprendimento dos agregados e o polimento dos agregados.

### 2.1.1. Deformações

As **rodeiras** são deformações transversais que se desenvolvem na zona de passagem dos rodados de veículos pesados. As rodeiras são de grande raio se a deformação permanente tiver origem nas camadas não ligadas do pavimento, e de pequeno raio se ocorrerem apenas nas camadas betuminosas.

As **deformações localizadas** são alterações de nível do pavimento, formando depressões ou elevações, podendo surgir isoladamente em diferentes pontos do pavimento.

O **abatimento** é uma deformação que se desenvolve tanto longitudinal como transversalmente à faixa de rodagem e se apresenta através de depressão no pavimento.

---

A **ondulação** é uma deformação da superfície do pavimento de forma sucessiva, alternando entre elevações e depressões. Surge com mais frequência em zonas de aceleração ou travagem.

### 2.1.2. Fendilhamento

As **fendas longitudinais** são paralelas ao eixo da estrada, geralmente localizadas ao longo da zona de passagem dos rodados dos veículos e por vezes junto ao eixo.

As **fendas transversais** são sensivelmente perpendiculares ao eixo da estrada, isoladas ou com um espaçamento variável, abrangendo parte ou toda a largura da faixa de rodagem.

A **pele de crocodilo** é caracterizada por fendas que formam entre si uma malha de dimensão variável (fina ou grossa), localizadas inicialmente na zona de passagem dos rodados dos veículos abrangendo progressivamente toda a largura da via de tráfego.

### 2.1.3. Desprendimento e movimento de materiais

A **desagregação superficial** é o arranque de uma das frações do agregado, geralmente a mais grossa, ou a perda do mástique betuminoso (ligante e finos).

A **cabeça de gato** é uma degradação que surge na camada de desgaste devido à perda da componente mais fina da mistura betuminosa, ficando os agregados grossos mais salientes, com o consequente aumento da macrotextura do pavimento.

A **pelada** corresponde ao desprendimento, em forma de placa, da camada de desgaste, relativamente à camada inferior.

Os **ninhos ou covas** são cavidades de forma arredondada localizadas na camada de desgaste, podendo progredir para as camadas inferiores, resultantes da evolução de outras degradações do pavimento.

A **exsudação** é a subida à superfície do ligante betuminoso na camada de desgaste, em particular na zona de passagem dos rodados dos veículos, conferindo-lhe um aspeto negro e brilhante.

A **subida de finos** é caracterizada pela existência de manchas de cor esbranquiçada devidas à presença de finos provenientes das camadas granulares e do solo de fundação, inicialmente junto de fendas da camada de desgaste, que evoluem para toda a superfície da camada, provenientes das camadas granulares e do solo de fundação.

O **desprendimento dos agregados** corresponde à desagregação da camada de desgaste e traduz-se num desprendimento dos agregados grossos com perda de qualidade dos materiais que compõem a camada de desgaste.

O **polimento dos agregados** é o desgaste por abrasão, geralmente da fração grossa do agregado, conferindo à superfície do pavimento um aspeto polido e brilhante.

## 2.2. Pavimentos de Blocos

As patologias em pavimentos de blocos surgem devido a diversos fatores: má escolha do tipo ou formato de blocos, falta de capacidade de suporte da base e sub-base do pavimento devido à utilização de materiais inadequados, espessura insuficiente das camadas, má compactação das camadas do pavimento, má drenagem, entre outros.

Um pavimento de blocos bem executado exige poucas ações de conservação. No entanto, deve ser inspecionado com regularidade por forma a corrigir as patologias assim que estas surgem. Para determinar qual o tipo de ação de conservação mais eficaz é necessário efetuar o levantamento visual das patologias.

A espessura da estrutura, os materiais constituintes, as propriedades e o comportamento dos materiais das camadas, o local de construção e as suas características climáticas, entre outros, contribuem para o bom ou mau desempenho dos pavimentos. Na Tabela 2. 3 apresentam-se os principais fatores que contribuem para a formação e desenvolvimento das degradações em pavimentos de blocos.

Tabela 2. 3 - Tipos de degradações e os fatores de degradação de pavimentos de blocos

| DEGRADAÇÕES                  | FATORES DE DEGRADAÇÃO             |                               |                                 |  |                         |                                    |                          |                  |   |  |
|------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--|-------------------------|------------------------------------|--------------------------|------------------|---|--|
|                              | Condições de drenagem superficial | Condições de drenagem interna | Subdimensionamento do pavimento | Camadas estruturais de reduzida capacidade | Qualidade dos materiais | Deficiências de fabrico e execução | Agressividade do tráfego | Ações Climáticas | Outros fatores (existência de infraestruturas, ...) | Outras patologias  |
| Rodeiras                     | X                                 | X                             | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        |                  |   |  |
| Depressões                   | X                                 | X                             | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        |                  | X   |  |
| Escalonamento dos blocos     | X                                 |                               |                                 |  | X                       | X                                  | X                        | X                |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Subida de finos</li> <li>Depressões</li> <li>Rodeiras</li> </ul>        |
| Empolamento dos blocos       | X                                 | X                             |                                 |  | X                       |                                    |                          | X                |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Depressões</li> <li>Rodeiras</li> </ul>                                 |
| Reparações                   | X                                 | X                             | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        | X                |   |  |
| Bloco danificado             | X                                 |                               | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        | X                | X   |  |
| Falta de blocos              | X                                 |                               | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        | X                | X   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Bloco danificado</li> </ul>   |
| Confinamento lateral         |                                   |                               | X                               | X  |                         | X                                  | X                        |                  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Depressões</li> <li>Rodeiras</li> </ul>                                 |
| Largura excessiva das juntas |                                   |                               | X                               | X  | X                       | X                                  | X                        |                  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Depressões</li> <li>Rodeiras</li> <li>Confinamento lateral</li> </ul>   |
| Arrastamento horizontal      | X                                 |                               | X                               | X  |                         | X                                  | X                        |                  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Confinamento lateral</li> <li>Espessura excessiva das juntas</li> </ul> |
| Subida de finos              | X                                 |                               |                                 |  | X                       | X                                  | X                        |                  |   |  |

---

À semelhança das patologias dos pavimentos flexíveis, as patologias dos pavimentos de blocos podem ser agrupadas em famílias: deformações; desprendimento e movimento de materiais.

Na família das deformações encontram-se as rodeiras, as depressões, o empolamento, o escalonamento dos blocos e as reparações.

O dano nos blocos, a falta de blocos, a ausência de confinamento lateral, a largura excessiva das juntas, o arrastamento horizontal e a subida de finos, incluem-se na família do desprendimento e movimento dos materiais.

Em Portugal não existe um catálogo de degradações para pavimentos de blocos. No entanto, atendendo a que é uma opção de pavimentação utilizada com frequência, adota-se a classificação proposta no Manual de Patologias do *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI).

### 2.2.1 Deformações

As **rodeiras** são uma deformação permanente do perfil transversal e caracterizam-se pela existência de depressões na zona de passagem dos rodados dos veículos, causada pelo assentamento das camadas de base e sub-base do pavimento. Provoca irregularidade no pavimento e quando a depressão está cheia de água pode provocar hidroplanagem dos veículos.

A **depressão** é caracterizada por uma área do pavimento sujeita a assentamento ou abatimento da camada de base ou sub-base, onde são visíveis diferenças de nível, zonas mais baixas, à superfície. Esta patologia é comum em zonas com infraestruturas subterrâneas.

O **escalonamento dos blocos** (*faulting* em inglês) é caracterizado por áreas da superfície do pavimento com diferenças de nível/elevação ou rotação entre blocos adjacentes, podendo ocorrer devido ao assentamento da almofada de areia, má execução, “bombagem” ou subida dos finos nas juntas. Por norma, esta patologia está associada a outras mais graves, tais como o assentamento, rodeiras, entre outros.

O **empolamento dos blocos** (designada por *heaves* em inglês) é caracterizado pela existência de áreas da superfície do pavimento mais elevadas, normalmente provocada pelo ciclo de gelo-degelo da água existente nas camadas inferiores do pavimento. Pode também ocorrer devido à instabilidade das camadas inferiores e à existência de assentamentos e rodeiras nas proximidades.

As **reparações** caracterizam-se pela existência de zonas do pavimento reparadas com material diferente do existente, as quais podem degradar-se mais rapidamente que a restante área do pavimento. A qualidade da reparação pode comprometer a integridade da estrutura do pavimento, provocar irregularidade superficial. É uma patologia que se assemelha às reparações nos pavimentos flexíveis.

---

## 2.2.2 Desprendimento e Movimento dos Materiais

O **bloco danificado** descreve o estado de conservação dos blocos no que se refere ao fendilhamento, fratura, abrasão e desprendimento do material da superfície do bloco, que levam à consequente degradação das características superficiais. Esta patologia é indicativa do dano causado por cargas excessivas ou originado pela má execução do bloco. O fendilhamento e fratura do bloco podem surgir devido à espessura demasiado fraca para o tráfego que o pavimento comporta, à porosidade elevada, à presença de gelo, e às juntas demasiado apertadas, consequência dos esforços de dilatação e compressão dos elementos. A abrasão e o desprendimento superficial do bloco surgem devido à intensidade de tráfego em conjugação com a presença de água, à fraca resistência ao desgaste do material do bloco, à má qualidade do material e também à porosidade elevada e presença de gelo.

A **falta de blocos** caracteriza-se pela perda de blocos no pavimento como resultado da remoção ou degradação/desintegração do bloco. A falta de blocos pode comprometer a integridade da estrutura do pavimento. Esta acontece devido à má escolha do material, à má execução das juntas, mau confinamento lateral e subdimensionamento do pavimento.

O **confinamento** de um pavimento de blocos é essencial para resistir ao movimento horizontal e de rotação dos blocos, e diminuir a perda de areia da almofada de areia e das juntas. A ausência de confinamento lateral e o tráfego intenso provocam alargamento das juntas, no bordo exterior do pavimento, ou na transição entre diferentes tipos de pavimento, podendo ocorrer a rotação vertical e horizontal dos blocos, ou o assentamento localizado do pavimento.

A **largura excessiva das juntas** é caracterizada pelo alargamento das juntas, devido a inúmeros fatores, tais como má execução em obra, falta de areia de preenchimento das juntas, fraco confinamento lateral, assentamento nas proximidades, entre outros. À medida que a junta alarga a camada de blocos perde rigidez e sujeita as camadas inferiores a esforços excessivos, o que pode provocar a ruína do pavimento. A largura ótima das juntas situa-se entre 2 e 5 mm.

O **arrastamento horizontal** (*shoving* em inglês) é um deslocamento longitudinal do pavimento provocado pelas ações do tráfego, acelerações e travagens, pela inexistência de confinamento lateral ou pela largura excessiva das juntas.

A **“bombagem” ou subida de finos** caracteriza-se pela perda de areia nas juntas, que pode ocorrer devido à chuva intensa, ao ato de varrer e lavar o pavimento, à bombagem ou subida dos finos. Pode ocorrer devido à carga elevada do tráfego, ao uso de material inadequado, a juntas mal executas, entre outros. O material existente na junta é essencial para manter o travamento e a rigidez do pavimento de blocos. A inexistência deste diminui a capacidade estrutural do pavimento e permite a entrada de água para as camadas inferiores e o movimento dos blocos.

## AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO

Cada vez mais, a principal preocupação das entidades gestoras da rede rodoviária é a necessidade de conservação das vias existentes, em detrimento da construção de novas vias. Isto acontece por razões de racionalidade orçamental, por um lado, e porque as redes estão praticamente construídas, por outro.

Contudo, é essencial estabelecer um programa de acompanhamento da evolução dos pavimentos, devido aos custos inerentes às operações de conservação de pavimentos, aos custos incorridos pelos utentes pela degradação progressiva da infraestrutura e à necessidade de preservar o património rodoviário construído.

O objetivo é o de apoiar a decisão de intervir no tempo certo, de modo a restituir a qualidade aos pavimentos, prolongando desta forma o seu período de vida, ao mesmo tempo que se reduzem os custos dos utentes que podem atingir valores muito significativos.

Para evitar intervenções desnecessárias, por um lado, e para que os danos se tornem irreparáveis e economicamente insustentáveis, por outro, afetando a segurança e os custos dos utilizadores, as decisões de conservação devem apoiar-se em informação relativa ao estado de degradação, cadastro e previsão de evolução desse estado ao longo do tempo, exigindo diagnóstico do estado de conservação e o planeamento das intervenções.

### 3.1. Inventário da Rede Rodoviária Municipal

Os dados relativos à história dos pavimentos existentes nem sempre são possíveis de obter. Pode não haver registo da data de construção inicial, por exemplo, ou de ações de conservação que tenham ocorrido ao longo dos anos de serviço. Apenas para as vias cuja construção foi alvo de concurso público é mais simples obter alguma informação, embora habitualmente a mesma não esteja organizada. Geralmente não existe registo das intervenções realizadas porque, em muitos casos, os serviços municipais não estão consciencializados para efetuar e manter registos atualizados das obras rodoviárias. Para isso é necessário criar e manter sistemas de informação que permitam recolher, organizar e pesquisar informação quando necessário.

O detalhe e quantidade de informação recolhida num inventário devem ser estabelecidos por cada administração rodoviária. A caracterização do pavimento deve ser acompanhada de informação complementar, tal como a identificação das vias incluindo a sua classificação hierárquica, localização (georreferenciação), extensão, largura, número de vias em cada sentido, o volume diário de tráfego, caracterização da área envolvente, entre outros.

A caracterização do pavimento diz respeito não só ao levantamento do seu estado atual, mas também à recolha de dados sobre a constituição e espessura das camadas do pavimento, e da sua fundação, e acerca da data de construção inicial e do histórico de intervenções. A recolha de informação servirá de apoio à decisão futura de intervenção na rede.

Um inventário, quando possível, deve conter a informação constante na Tabela 3. 1.



Tabela 3. 1- Informação para um inventário

|  |  |
|--|--|
| <b>Identificação e georreferenciação</b> | Localização da via<br>Localização dos pontos de referência<br>Localização de trechos da rede<br>Designação da via  |
| <b>Classificação da via</b>              | Via coletora ou arterial<br>Via distribuidora principal<br>Via de acesso local   |
| <b>Caracterização do tráfego</b>         | Trafego médio diário anual<br>Trafego médio diário anual de pesados<br>Classe de tráfego   |
| <b>Caracterização das degradações</b>    | Patologias existentes<br>Gravidade das patologias<br>Índice de qualidade do pavimento  |
| <b>Histórico do pavimento</b>            | Caracterização da estrutura do pavimento e fundação<br>Geometria do perfil transversal<br>Caracterização do sistema de drenagem<br>Ano de construção<br>Tipo de intervenções realizadas<br>Descrição de ações de conservação realizadas<br>Data da ação de conservação |

## 3.2. Levantamento Visual das Degradações

Para definir as estratégias de conservação, deve ser feito o diagnóstico do estado do pavimento existente, a partir do qual será feita a previsão das intervenções a realizar, através da recolha de dados, com recurso a observação visual e caracterização da situação existente, a qual pode incluir, quando considerado necessário, medição de alguns parâmetros diretamente com equipamentos.

A aquisição de dados baseados em sistemas automáticos tem elevado rendimento quando comparada com os métodos manuais. Nos municípios mais pequenos, por várias razões, tais como a reduzida capacidade financeira, a pouca disponibilidade ou inexistência de equipamentos de medida, ou a falta de técnicos suficientemente especializados, pode recorrer-se à metodologia de observação visual, a qual, utilizada com bom senso pode constituir uma ferramenta muito útil para a avaliação do estado de conservação do pavimento.

### 3.2.1. Catálogo de Degradações

Um catálogo de degradações é um documento de referência para obter maior fiabilidade e homogeneidade na observação visual dos pavimentos. Este, contém uma descrição do tipo de degradação, descreve como avaliar ou medir a gravidade, estabelece níveis de gravidade e indica as possíveis causas e consequências das degradações.

Em Portugal, a Estradas de Portugal, S. A. (EP) utiliza o Catálogo de Degradações dos Pavimentos Rodoviários que desenvolveu. Este catálogo organiza os diferentes tipos de degradações que habitualmente se desenvolvem nos pavimentos, flexíveis e rígidos, da rede rodoviária portuguesa. O catálogo é ilustrado com fotografias que representam os tipos e os

---

níveis de degradações, incluindo a descrição sucinta de cada uma, relatando ainda as causas possíveis, assim como a sua provável evolução.

Em Portugal ainda não existe um catálogo de degradações para pavimentos de blocos. No entanto, o *Interlocking Concrete Pavement Institute* (ICPI) lançou em 2008 um manual de avaliação do estado de conservação de pavimentos de blocos de betão que pode ser utilizado como um catálogo de degradações, pois também é ilustrado com fotografias que representam os tipos e os níveis de degradações existentes nesses pavimentos. As patologias descritas neste manual são comuns aos pavimentos de blocos de rocha natural.

### **3.2.2. Observação Visual das Degradações**

A observação visual é a técnica de observação do estado superficial que exige menos meios especializados. No entanto, e uma vez que é realizada por um ou mais técnicos, está sujeita a alguma subjetividade. Para que as degradações sejam avaliadas de diferentes modos, até pelo mesmo técnico, é indispensável a utilização de um catálogo de degradações que permita maior rendimento e menor subjetividade.

Devem ser registados aspetos relacionados com as características funcionais das vias, por exemplo a desagregação superficial e a exsudação, e com as características estruturais, tais como as deformações permanentes e o fendilhamento.

O técnico percorre as vias, a pé ou numa viatura, recolhendo visualmente os dados sujeitos à perceção individual deste, registando os diferentes tipos de degradações, a sua gravidade e extensão, traduzida pela extensão ou área afetada pelas degradações, numa ficha específica, em papel ou suporte informático. Estes parâmetros vão permitir avaliar a qualidade do pavimento e definir os trechos onde será necessário intervir a curto prazo.

O estado dos órgãos de drenagem, bermas e taludes também deve ser registado, uma vez que influencia o estado de conservação do pavimento. Pode registar-se a existência de raízes de árvores, o aparecimento de águas subterrâneas, a escavação interna provocada pela falta de valeta revestida, a cedência das bermas, entre outras.

Na observação visual a pé, o técnico deve fazer-se acompanhar de um odómetro (para medir a distância percorrida), fita métrica, fichas de levantamento, máquina fotográfica, GPS (se disponível) e um catálogo de degradações. Para além destes equipamentos, o técnico deve envergar equipamento de proteção individual (colete refletor e calçado confortável) e a via deve ter sinalização temporária a cada 5 km, por forma a alertar os condutores para a realização das observações, garantindo desta forma a segurança dos técnicos e dos utentes. Nas vias com maior tráfego, a complementar a sinalização temporária, a inspeção deverá ser apoiada por uma viatura, com rotativos luminosos a sinalizar a marcha dos técnicos (Tavares, 2013).

As fichas de levantamento das patologias de pavimentos flexíveis ou de blocos devem conter informação acerca da via em análise, a data, o tipo e gravidade das patologias, entre outros. Estas fichas podem ser utilizadas ou preenchidas, em formato papel ou formato digital (através de um *tablet* ou *smartphone*). Em anexo ao presente manual apresentam-se exemplos de fichas de levantamento para pavimentos flexíveis e de blocos.

A observação visual das degradações assistida por computador pode ser efetuada, por exemplo, através do VIZIROAD, utilizado pela EP. Trata-se de um sistema informático de aquisição de dados, dispondo de uma interface informática constituída por dois teclados complementares, onde cada tecla, através de configuração informática específica, pode ser associada a um determinado tipo e gravidade de degradação. O equipamento é instalado num veículo ligeiro e possui ainda um GPS, câmara de vídeo e um perfilómetro.

### 3.3. Levantamento das Características Funcionais

O desempenho funcional ou superficial dos pavimentos está relacionado com fatores de segurança, conforto e economia, afetando especialmente o utente. A característica mais importante do ponto de vista de segurança de circulação é sem dúvida a resistência à derrapagem em tempo de chuva. As irregularidades do pavimento afetam sobretudo a comodidade dos utentes. A influência das características superficiais na segurança, conforto, ambiente e economia apresenta-se na Tabela 3. 2.

Tabela 3. 2- Influência das características superficiais

|                             | Segurança | Conforto | Ambiente | Economia | Influência    |  |
|-----------------------------|-----------|----------|----------|----------|---------------|--|
| Aderência                   |           |          |          |          | Importante    |  |
| Irregularidade longitudinal |           |          |          |          | Significativa |  |
| Irregularidade transversal  |           |          |          |          | Moderada      |  |
| Ruído                       |           |          |          |          | Fraca         |  |
| Visibilidade                |           |          |          |          | Nula          |  |

A **aderência** da camada superficial dum pavimento rodoviário corresponde à sua capacidade para mobilizar o atrito entre os pneus dos veículos e o pavimento. Aquela característica do pavimento assume maior importância em situações de travagem, aceleração e circulação em curva.

A **textura** desempenha um papel fundamental na qualidade funcional de um pavimento, designadamente, na resistência à derrapagem, no desgaste dos pneus, no ruído e vibrações transmitidas ao interior dos veículos, tratando-se de um parâmetro que influencia diretamente a segurança, o custo de operação dos veículos, o conforto e o ambiente.

A **microtextura**, isto é, a aspereza superficial das partículas de agregado visíveis à superfície, contribui para a interpenetração das superfícies em contacto (pneu / pavimento), mobilizando a principal componente da aderência (atrito por adesão) para velocidades de circulação médias e baixas.

Rochas pouco resistentes ao polimento, como são geralmente os calcários que abundam nesta região, conduzem a camadas de desgaste com fraca microtextura. As deficientes condições de atrito podem explicar alguns dos acidentes graves que ocorrem em meio urbano. No domínio do comprimento de onda a microtextura situa-se entre 1 µm e 0,5mm, com uma amplitude entre 1 µm e 0,2 mm, podendo ser avaliada indiretamente através da medição do coeficiente de atrito.

A **macrotextura** pode descrever-se como a saliência média dos agregados rochosos relativamente à superfície geral do pavimento, corresponde ao domínio de comprimento de

---

onda compreendido entre 0,5 mm e 50 mm, com uma amplitude vertical compreendida entre 0,1 mm e 20 mm, que resulta das partículas maiores do agregado na mistura. Em conjunto com a geometria do rasto do pneu, a macrotextura do pavimento facilita o escoamento da água quando chove. Este efeito reduz a espessura da lâmina líquida sob o pneu e reduz o risco de hidroplanagem. Quanto mais elevada for a velocidade de circulação, maior é o risco de perda de aderência. O CAL pode reduzir mais de 60% quando a velocidade passa de 40 para 120 km/h, por exemplo.

O **atrito** é uma propriedade física da superfície do pavimento, é medido em piso molhado, porque quase todas as camadas de desgaste disponíveis no mercado apresentam bons níveis de resistência à derrapagem em piso seco. Quando o pavimento está molhado, a água atua como lubrificante entre o pneu e a superfície do pavimento.

O atrito de um pavimento pode ser avaliado através da medição do CAL (influencia a distância de paragem) e do CAT (influencia a segurança de circulação em curva). Ambos os parâmetros têm importância para a segurança da circulação, mas é o segundo, o atrito transversal, que mais influencia a velocidade de circulação e consequentemente os acidentes. O coeficiente de atrito de um pavimento é mais elevado no inverno que no verão, devido à variação das características da superfície do pavimento, ao desempenho dos pneus e às condições climáticas.

A medição do atrito proporcionado pela superfície de uma camada de desgaste pode realizar-se em geral segundo três métodos, medição pontual do atrito pneu-pavimento através ensaio do pêndulo britânico, medição do atrito longitudinal em contínuo (com pneu parcialmente bloqueado) através do equipamento Grip Tester e medição do atrito transversal em contínuo (com pneu livre) através do equipamento SCRIM.

A **regularidade superficial** é uma propriedade funcional com principal incidência na comodidade de circulação, mas que também influencia a segurança do utilizador e o desgaste dos pneus (aumentando o consumo de combustível). A irregularidade é descrita como o desvio do perfil da superfície em relação a uma superfície de referência. A irregularidade afeta a dinâmica do veículo, a qualidade de circulação, as cargas dinâmicas e a drenagem. As irregularidades superficiais devem-se às diferenças verticais que existem entre a superfície teórica do pavimento (definida em projeto) e a sua superfície real e surgem, geralmente, devido à falta de capacidade de suporte da camada de fundação, à má colocação e compactação dos materiais em obra e à ação do tráfego.

A **irregularidade longitudinal** influencia a resposta do pavimento uma vez que excita as cargas aplicadas pelos veículos no pavimento, provocando perfis de carga superiores ao perfil estático. O levantamento desta característica é efetuado ao longo da via, uma vez que no mesmo trecho de pavimento podem ser encontrados diferentes irregularidades e a quantificação desta é realizada através da determinação do índice IRI (*International Roughness Index*).

A **irregularidade transversal** é evidenciada nos pavimentos através da formação de rodeiras, cujos efeitos negativos já foram descritos.

### 3.3.1 Ensaio da Mancha de Areia

O Ensaio da Mancha de Areia avalia a macrotextura do pavimento, caracteriza a sua capacidade de drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento, e quantifica a profundidade média da textura à superfície do pavimento. Na Ilustração 3. 1 apresenta-se o equipamento utilizado e o modo de realização do ensaio.

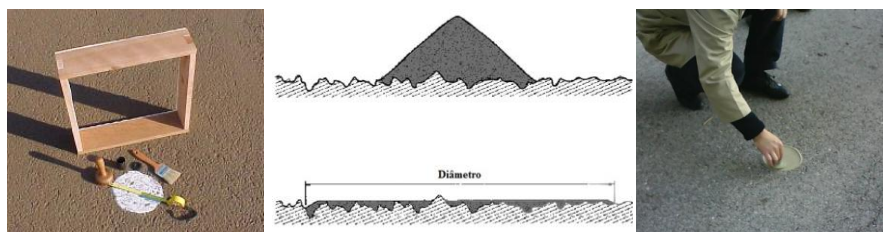


Ilustração 3. 1 - Material necessário e modo de espalhamento da areia ou esferas

Este ensaio regulado pela norma NP EN 13036-1 (IPQ, 2011), consiste no espalhamento sobre a superfície do pavimento de  $25\text{cm}^3$  de areia ou esferas de vidro e determinação da profundidade média da textura (MTD) das depressões da superfície da camada de desgaste do pavimento, uma vez conhecida a área da superfície de espalhamento da areia (Branco, et al., 2011). Na Tabela 3. 3 apresentam-se os valores mínimos para a profundidade média de textura.

Tabela 3. 3 - Valores mininos de MTD em pavimentos flexíveis

| Tipo de mistura betuminosa        | MTD (mm)  |
|-----------------------------------|-----------|
| Betão betuminoso                  | MTD > 0,6 |
| Betão betuminoso drenante         | MTD > 1,2 |
| Microbetão rugoso                 | MTD > 1,0 |
| Argamassa betuminosa              | MTD > 0,4 |
| Mistura betuminosa de alto módulo | MTD > 0,4 |

### 3.3.2 Ensaio do Pêndulo Britânico

O Ensaio do Pêndulo Britânico é um ensaio destinado a medir as características de aderência e a microtextura da superfície de um pavimento, regulado pela norma EN 13036-4. É efetuado com um pêndulo constituído por um braço de rotação articulado numa coluna vertical fixa na base horizontal, com o deslizador na extremidade livre que funciona como simulador da superfície de um pneu, ilustrado na Ilustração 3.2. Consiste em deixar tombar o braço do pêndulo, a partir da sua posição horizontal, e registar o valor da escala correspondente à sua altura máxima depois de ter rodado em torno do eixo horizontal de apoio e ter atuado sobre a superfície do pavimento.

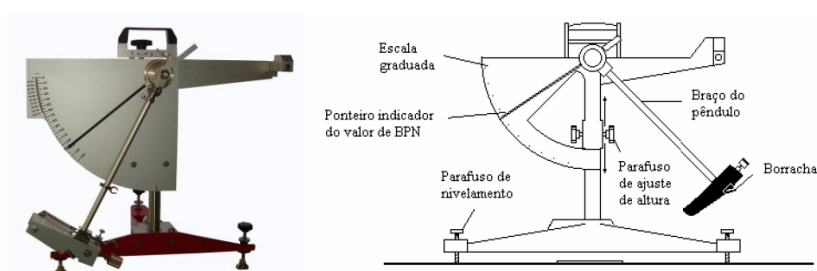


Ilustração 3. 2 - Equipamento Pêndulo Britânico

Os valores medidos denominam-se por PTV (*Pendulum Test Value*) e representam indiretamente o atrito que se obteria entre o pneu e o pavimento. Quanto maior for o valor de PTV, maior será a resistência oferecida pela superfície do pavimento à passagem do da borracha do pêndulo, já que maior será a energia perdida pelo pêndulo. Os valores mínimos de PTV devem situar-se entre 45 para estradas em geral e 65 para zonas particulares (rotundas, aproximação a semáforos, zonas inclinadas).

O atrito entre a borracha do pêndulo e a superfície do pavimento provoca a perda de energia do pêndulo, a qual será proporcional às características de rugosidade dessa superfície, procurando quantificar o desempenho de um veículo a travar sobre uma superfície de pavimento molhado, à velocidade de 50 km/h.

### 3.3.3 Régua de Medição de 3 metros

Para a medição da irregularidade longitudinal ou transversal pode usar-se uma régua de 3 metros, a qual é utilizada manualmente, portanto a muito baixa velocidade. No levantamento das degradações, essencialmente na medição das deformações permanentes ou das irregularidades dos pavimentos, este método de ensaio pode ser facilmente utilizado.

Este ensaio normalizado pela BS EN 13036-7 (BS, 2003), consiste na colocação da régua de 3 m na posição pretendida, colocando-se perpendicularmente a régua de 30 cm, ajustando-se a posição vertical de forma que fique com uma das extremidades em contacto com a superfície do pavimento. A leitura é efetuada medindo a distância entre a régua de 3 m e a superfície de medição, utilizando para o efeito a graduação da régua de 30 cm. Este ensaio é utilizado para medições pontuais tanto longitudinais como transversais, ou em qualquer outra direção (Alves, 2007). Na Figura 0.1 ilustram-se exemplares da régua vertical e horizontal.



Figura 0.1 - Régua horizontal e vertical

### 3.3.4 Outros Equipamentos e Métodos

O levantamento das características superficiais e funcionais dos pavimentos (atrito, textura e irregularidades) é uma operação que acarreta mais custos, uma vez que é efetuado com recurso a equipamentos específicos e padronizados, que a maioria dos municípios não possui, sendo necessário recorrer a entidades externas para a sua execução. Para conhecimento apresenta-se a correspondência entre as características superficiais a levantar e o equipamento a utilizar na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Correspondência entre as características funcionais a levantar e o equipamento / ensaio utilizado

| CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS A AVALIAR           | ENSAIO/EQUIPAMENTO             |   | BREVE DESCRIÇÃO   | NORMA               |
|--|--------------------------------|---|---|---------------------|
| <b>PROFUNDIDADE DA TEXTURA SUPERFICIAL</b>     | Ensaio da Mancha de Areia      |    | Ensaio destinado a avaliar a macrotextura do pavimento; caracteriza a superfície do pavimento quanto à sua capacidade para drenar a água confinada entre o pneu e o pavimento.  | NP EN 13036-1: 2011 |
| <b>ATRITO</b>                                  | Ensaio do Pêndulo Britânico    |    | Ensaio destinado a medir as características de aderência e a microtextura da superfície de um pavimento. Simula o desempenho de um veículo a travar sobre a superfície de um pavimento molhado a 50km/h.  | EN 13036-4:2003     |
|  | Grip Tester                    |    | Equipamento para medição do coeficiente de atrito longitudinal (CAL) através da medição das forças horizontais e verticais exercidas no pneu em deslocamento sobre o pavimento.   | BS 7941-2000        |
|  | SCRIM                          |   | O equipamento permite a medição contínua do coeficiente de atrito transversal (CAT) que é a razão entre a força horizontal T e a ação vertical R, que a massa suspensa exerce sobre a roda com o valor de 200 kg.                               | BS 7941-1:2006      |
| <b>REGULARIDADE LONGITUDINAL E TRANSVERSAL</b> | Ensaio da Régua de 3 metros    |  | Sistema de perfilômetro mais simples, para medição da irregularidade longitudinal ou transversal, é um ensaio estático, útil na medição das deformações permanentes e irregularidades.  | BS EN 13036-7:2003  |
|  | Perfilômetro Laser             |  | Equipamento de medição dos desvios altimétricos da superfície do pavimento em relação a um perfil ideal, avaliação da irregularidade longitudinal e transversal, permite determinar a profundidade da textura e/ou das rodeiras, e ainda o IRI. |                     |
|  | Perfilômetro Inercial          |  | Equipamento de referência inercial para determinação do IRI em contínuo. O princípio de medida está associado às oscilações angulares entre o braço de suporte da roda de medição e o pêndulo inercial.   | NF P 98-218-3       |
| <b>DRENABILIDADE SUPERFICIAL</b>               | Ensaio do Permeâmetro          |  | Ensaio utilizado para determinar a condutividade hidráulica relativa da superfície do pavimento, ou o tempo que leva a escoar 4 litros de água numa dada área de superfície de pavimento.   | EN 12697-40:2005    |
|  | Medidor de Escoamento          |  | O ensaio tem como objetivo simular a drenagem da água que está entre a área de contacto de um pneu de um veículo em movimento e o pavimento.  | NP EN 13036-3:2011  |
| <b>RUÍDO</b>                                   | Método Estatístico de Passagem |  | Metodologia para determinar o desempenho acústico da superfície de um pavimento é determinado um índice que tem em conta as categorias de veículos e velocidades e os níveis sonoros do veículo   | ISO 11819-1:2013    |



### 3.4. Níveis de Gravidade das Degradações

Independentemente do método utilizado para o levantamento das degradações superficiais, é necessário estabelecer níveis de gravidade para cada uma delas, de modo a determinar o nível de qualidade do pavimento.

#### 3.4.1 Pavimentos Flexíveis

Os níveis de gravidade das degradações superficiais do pavimento apresentam-se na Tabela 3. 5, assim como os valores a utilizar na metodologia para determinação do Índice de Qualidade (IQ).

Tabela 3. 5 - Níveis de gravidade e valores de cálculo

| Degradação  | Gravidade | Descrição do nível de gravidade  | Valor para efeitos de cálculo |
|---|-----------|--|-------------------------------|
| Rodeiras<br>(R)   | 1         | Profundidade máxima da rodeira inferior a 10mm                         | 5 mm                          |
|   | 2         | Profundidade máxima da rodeira entre 10mm e 30mm                       | 20 mm                         |
|   | 3         | Profundidade máxima da rodeira superior a 30mm                         | 30 mm                         |
| Fendilhamento<br>(C)  | 1         | Fenda isolada  | $0,5 \times C$                |
|   | 2         | Fendas longitudinais ou transversais, abertas ou ramificadas           | $2 \times C$                  |
|   | 3         | Pele de crocodilo  | $C \times L$                  |
| Peladas, desagregações superficiais, exsudação do betume, polimento dos agregados, deformações localizadas<br>(S) | 1         | Anomalia com largura inferior a 30cm                                   | $0,5 \times C$                |
|   | 2         | Anomalia com largura entre 30cm e 100cm                                | $2 \times C$                  |
|   | 3         | Anomalia com largura superior a 100cm                                  | $C \times L$                  |
| Covas ou Ninhos<br>(S)  | 1         | Profundidade máxima da cavidade inferior a 2cm                         | $0,5 \times C$                |
|   | 2         | Profundidade máxima da cavidade entre 2cm e 4 cm                       | $2 \times C$                  |
|   | 3         | Profundidade máxima da cavidade superior a 4cm                         | $C \times L$                  |
| Reparações<br>(P)   | 1         | Reparações bem executadas  | $0,25 \times C \times L$      |
|   | 2         | Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas | $0,5 \times C \times L$       |
|   | 3         | Reparações mal executadas  | $C \times L$                  |
| Em que C é o comprimento afetado e L a largura do trecho ou via   |           |  |                               |

#### 3.4.2 Pavimentos de Blocos Prefabricados de Betão

À semelhança do que acontece com os pavimentos flexíveis o ICPI propõe níveis de gravidade para as degradações dos pavimentos de blocos prefabricados de betão. Esta classificação apresenta-se na Tabela 3. 6.

Tabela 3. 6 - Níveis de gravidade das degradações em pavimentos de blocos prefabricados de betão

| Degradação                                 | Medição   | Gravidade | Descrição do nível de gravidade  |
|--|---|-----------|--|
| <b>Bloco Danificado (101)</b>              | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )<br>Blocos individuais não entram na medição. | Baixa (L) | Em bloco individual, existência de fenda e pequena área sujeita a abrasão e desagregação superficial   |
|  |   | Média (M) | Estado avançado de fendilhamento, abrasão e desagregação superficial                                   |
|  |   | Alta (H)  | Blocos partidos ou desintegrados   |
| <b>Depressões (102)</b>                    | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Profundidade de 5 até 15 mm  |
|  |   | Média (M) | Profundidade de 15 até 30mm  |
|  |   | Alta (H)  | Profundidade superior a 30mm   |
| <b>Confinamento lateral (103)</b>          | Largura ou comprimento afetado, em metro linear (m), medida em relação à zona do confinamento,                  | Baixa (L) | Aumento da dimensão da junta em 6 até 10 mm.<br>Não existe evidência de rotação de blocos              |
|  |   | Média (M) | Aumento da dimensão da junta em 11 até 15 mm.<br>Existe evidência de rotação de blocos                 |
|  |   | Alta (H)  | Aumento da dimensão da junta superior a 15 mm.<br>Grande evidência de rotação de blocos e assentamento |
| <b>Largura Excessiva das Juntas (104)</b>  | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Espessura média de 6 até 10 mm   |
|  |   | Média (M) | Espessura média de 11 até 15 mm  |
|  |   | Alta (H)  | Espessura média superior a 15 mm   |
| <b>Escalonamento de Blocos (105)</b>       | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Diferença de nível entre blocos de 4 até 6 mm  |
|  |   | Média (M) | Diferença de nível entre blocos de 6 até 10 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Diferença de nível entre blocos superior a 10 mm   |
| <b>Empolamento de blocos (106)</b>         | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Altura da elevação de 5 até 15 mm  |
|  |   | Média (M) | Altura da elevação de 15 até 30 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Altura da elevação superior a 30 mm  |
| <b>Arrastamento Horizontal (107)</b>       | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Deslocamento máximo dos blocos de 6 até 10 mm  |
|  |   | Média (M) | Deslocamento máximo dos blocos de 11 até 20 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Deslocamento máximo dos blocos superior a 20 mm  |
| <b>“Bombagem” ou subida de finos (108)</b> | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Profundidade sem material de juntas de 5 até 10 mm   |
|  |   | Média (M) | Profundidade sem material de juntas de 11 até 25 mm  |
|  |   | Alta (H)  | Profundidade sem material de juntas superior a 25 mm   |
| <b>Falta de blocos (109)</b>               | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Falta de blocos individuais  |
|  |   | Média (M) | Falta de múltiplos blocos (2 ou mais) numa área e a qualidade da viagem não é afetada                  |
|  |   | Alta (H)  | Falta de múltiplos blocos (2 ou mais) e a qualidade da viagem é afetada                                |
| <b>Reparações (110)</b>                    | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | A reparação está boa e a qualidade da viagem não é afetada   |
|  |   | Média (M) | A reparação está boa a razoável e a qualidade da viagem está a começar a deteriorar-se                 |
|  |   | Alta (H)  | A reparação está má e a qualidade da viagem é afetada  |
| <b>Rodeiras (111)</b>                      | Superfície ou área danificada, em metro quadrado (m <sup>2</sup> )  | Baixa (L) | Profundidade de 5 até 15 mm  |
|  |   | Média (M) | Profundidade de 15 até 30 mm   |
|  |   | Alta (H)  | Profundidade superior a 30 mm  |

### 3.5. Irregularidade Longitudinal do Pavimento (IRI)

É também necessário conhecer o IRI do pavimento, parâmetro que pode ser obtido diretamente da observação com equipamento específico ou, quando não for possível, inferir o valor do IRI através do princípio de que o valor deste índice depende das degradações, quantificando-se da forma indicada na Tabela 3. 7. Os níveis de gravidade para cada degradação considerada resultam da ponderação dos níveis de gravidade registados ao longo do trecho, ponderados em função das respetivas extensões de ocorrência.

Tabela 3. 7 - Valores de IRI na ausência de medição direta

| Degradação   | Intervalo      | Condição   | Nível | IRI                            |
|--|----------------|--|-------|--------------------------------|
| Fendilhamento  | ≤ 1.25         | ≤  | 1     | <b>Tipo 1</b><br>IRI=700mm/km  |
| Rodeiras   |                | ≤  | 1     |                                |
| Peladas, reparações, desagregação superficial, etc.        |                | ≤  | 1     |                                |
| Fendilhamento  | ≥ 1.25 e ≤2.25 | Todos os casos que não correspondem ao Tipo 1 ou ao Tipo 3 |       | <b>Tipo 2</b><br>IRI=2000mm/km |
| Rodeiras   |                |  |       |                                |
| Peladas, covas, reparações, desagregação superficial, etc. |                |  |       |                                |
| Fendilhamento  | ≥ 2.25         | =  | 3     | <b>Tipo3</b><br>IRI=3500mm/km  |
| Rodeiras   |                | =  | 3     |                                |
| Peladas, reparações, desagregação superficial, etc.        |                | ≥  | 2     |                                |

Numa estrada com 100 m de comprimento e 6 m de largura, suponha-se que 20 m estão afetados por fendilhamento do tipo fendas longitudinais, ou seja, fendilhamento de gravidade 2, de acordo com a Tabela 3. 5. Suponha-se ainda que o pavimento tem 10 m afetados com fendilhamento do tipo pele de crocodilo, ou seja, gravidade 3, e que não tinha mais qualquer tipo de degradação. Assim, a restante extensão de 70 m terá um fendilhamento com o nível de gravidade 1 (o mínimo considerado na metodologia).

Como apenas existe fendilhamento, para o cálculo do IRI considera-se apenas aquela patologia, quantificada pela expressão seguinte:

$$Fendilhamento = \frac{\text{Gravidade} \times \text{comprimento afectado}}{\text{Comprimento total}} = \frac{2 \times 20 + 3 \times 10 + 70 \times 1}{100} = 1,4 \rightarrow \text{Tipo 2}$$

Uma vez que o pavimento não apresentava mais nenhum tipo de patologia pode concluir-se que o IRI é do tipo 2, ou seja, tem um valor de 2000mm/km. O raciocínio seria o mesmo no caso de existirem outras patologias, sendo o valor do IRI decidido com base no nível de gravidade mais elevado das patologias consideradas.

### 3.6. Avaliação da Qualidade de Pavimentos Flexíveis

O Índice de Qualidade (IQ) é um índice que qualifica a rede em função de indicadores do estado do pavimento, o IRI, as rodeiras, o fendilhamento, as covas ou ninhos, as peladas e as reparações, dados provenientes do levantamento visual.

A metodologia para avaliar a condição global de um pavimento flexível, utilizada no estado do Nevada e baseada no valor de PSI (*Present Serviceability Index*) foi adaptada à cidade de Lisboa com parâmetros representativos da realidade portuguesa (Picado dos Santos L., et al., 2004) e permite determinar o IQ através da expressão (3.1):

$$IQ = 5 \times e^{-0,0002598 \times IRI} - 0,002139 \times R^2 - 0,10 \times (C + S + P)^{0,5} \quad (3.1)$$

Em que,  $(C+P+S) \leq 100\%$  e:

IQ - índice de qualidade;

IRI – irregularidade longitudinal do pavimento (mm/km);

R – profundidade média das rodeiras (mm);

C – área afetada por fendilhamento e pele de crocodilo ( $m^2/100 m^2$ , em %)

S – área afetada por degradações superficiais de materiais e covas ( $m^2/100 m^2$ , em %)

P – área afetada por reparações ( $m^2/100 m^2$ , em %)

O IQ é um valor que pode variar no intervalo entre 0 (pavimento em muito mau estado) e 5 (pavimento em muito bom estado) classificando o estado do pavimento em bom, razoável e medíocre, conforme Tabela 3. 8.

Tabela 3. 8 - Avaliação da qualidade do pavimento através do IQ

| IQ             |                 |                            |                      |
|----------------|-----------------|----------------------------|----------------------|
| Classificação: | Bom<br>IQ > 3.5 | Razoável<br>2.5 < IQ < 3.5 | Medíocre<br>IQ < 2.5 |

### 3.7. Avaliação da Qualidade de Pavimentos de Blocos

A utilização de blocos prefabricados de betão em pavimentos é uma opção viável para vias de baixo tráfego. Como na literatura portuguesa não existe nenhum método de avaliação da qualidade deste tipo de pavimentos, apresenta-se uma metodologia de avaliação da qualidade de pavimentos de blocos prefabricados de betão implementada pelo ICPI e baseada no cálculo do PCI (*Pavement Condition Index*) que correlaciona o tipo, quantidade e níveis de gravidade das degradações superficiais dos pavimentos, conforme se ilustra na Ilustração 3. 3. Esta metodologia vai permitir estabelecer correspondência com a avaliação de estratégias simplificada do *Asphalt Institute*, no que respeita ao tempo para intervir no pavimento.

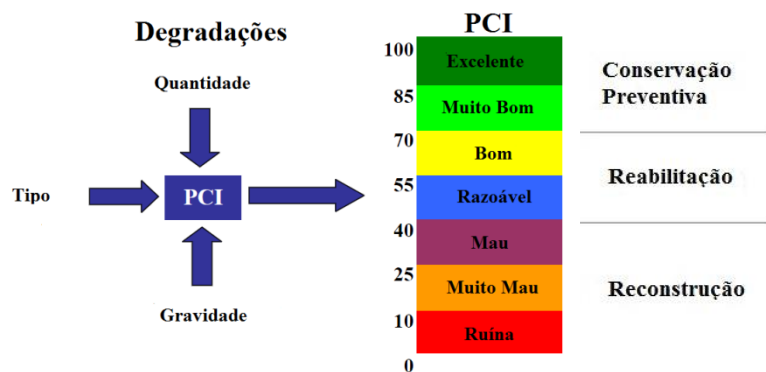


Ilustração 3. 3- Fluxograma de determinação do PCI

O cálculo do PCI inicia-se com a identificação e quantificação dos tipos de degradações e a sua gravidade, existentes numa determinada via. O ICPI propõe que a avaliação seja efetuada em secções representativas de uma via e apresenta no manual os critérios de escolha dessas secções. No entanto, ainda que a via seja dividida em secções para melhor tratamento dos dados, consideram-se todas as secções avaliadas na determinação do PCI da via.

Segue-se a determinação da densidade da degradação, através da divisão da área ou comprimento, ou largura, afetada por cada degradação, pela área ou comprimento ou largura total da via. Como a densidade é uma percentagem, o valor obtido é multiplicado por 100.

Através da densidade da degradação e das curvas de dedução (ilustra-se um exemplar na Ilustração 3. 4), determina-se o valor deduzido (DV).

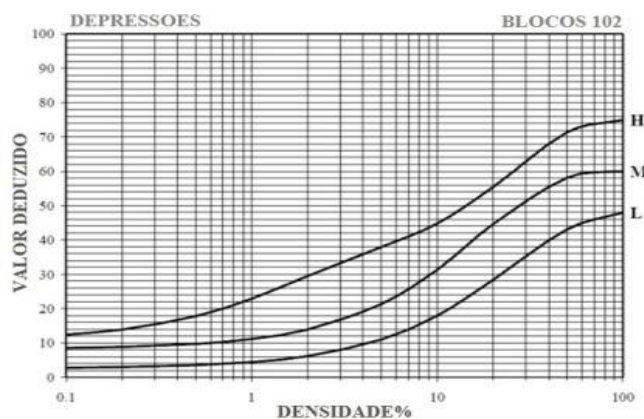


Ilustração 3. 4 - Curva de dedução para as depressões

O procedimento seguinte aplica-se para determinar o valor deduzido máximo corrigido, CDV. Se existir apenas um ou nenhum valor deduzido, DV, superior a dois, utiliza-se o valor total (TDV) em vez do máximo CDV para determinar o PCI; caso contrário, o máximo CDV é determinado da seguinte forma:

- 1º. Listar os valores deduzidos (DV) por ordem decrescente;
- 2º. Determinar o parâmetro  $m$  que corresponde ao número de reduções possíveis, através da fórmula  $m = 1 + \left(\frac{9}{98}\right)(100 - HDV) \leq 10$ , em que HDV é o máximo valor deduzido individual;
- 3º. Se existirem menos DV que  $m$ , então serão utilizados todos os DV para determinar CDV; caso contrário, o número de valores individuais de DV a considerar é igual ao número  $m$  de valores mais altos de DV, incluindo a parte fracionária;
- 4º. Determinar o parâmetro  $q$ , que corresponde ao número de DV com valor superior a 2;
- 5º. Determinar o CDV através do número  $q$  e do valor TDV;
- 6º. Calcular o CDV iterativamente, reduzindo, em cada passo, para 2 os valores de DV superiores a 2, repetindo o procedimento até que  $q=1$ . O valor máximo CDV é o maior valor de CDV determinado, conforme se ilustra na Ilustração 3. 5.

$$m = 1 + (9/98)(100 - 25,1) = 7,9 < 8$$

Nas iterações entram os 7 DV e 0,9 do 8º DV  
 $0,9 \times 5,3 = 4,8$

| #  | DV   |      |      |      |     |     |     |     | TDV   | q | CDV |
|----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-------|---|-----|
| 1  | 25,1 | 23,4 | 17,9 | 11,2 | 7,9 | 7,5 | 6,9 | 4,8 | 104,7 | 8 | 51  |
| 2  | 25,1 | 23,4 | 17,9 | 11,2 | 7,9 | 7,5 | 6,9 | 2   | 101,9 | 7 | 50  |
| 3  | 25,1 | 23,4 | 17,9 | 11,2 | 7,9 | 7,5 | 2   | 2   | 97    | 6 | 46  |
| 4  | 25,1 | 23,4 | 17,9 | 11,2 | 7,9 | 2   | 2   | 2   | 91,5  | 5 | 47  |
| 5  | 25,1 | 23,4 | 17,9 | 11,2 | 2   | 2   | 2   | 2   | 85,6  | 4 | 48  |
| 6  | 25,1 | 23,4 | 17,9 | 2    | 2   | 2   | 2   | 2   | 76,4  | 3 | 48  |
| 7  | 25,1 | 23,4 | 2    | 2    | 2   | 2   | 2   | 2   | 60,5  | 2 | 44  |
| 8  | 25,1 | 2    | 2    | 2    | 2   | 2   | 2   | 2   | 39,1  | 1 | 39  |
| 9  |      |      |      |      |     |     |     |     |       |   |     |
| 10 |      |      |      |      |     |     |     |     |       |   |     |

Max CDV = 51

PCI = 100 - Max CDV = 49

Valores das  
curvas de  
redução

Ilustração 3. 5 - Exemplo para determinação do CDV de forma iterativa

O PCI da seção é então calculado subtraindo o máximo CDV a 100, ou seja,  $PCI = 100 - \text{Max CDV}$ . O PCI da via é a média ponderada das áreas e dos respectivos PCI obtidos para cada seção avaliada.

Esta metodologia não poderá ser utilizada nos restantes pavimentos de blocos pois as curvas de dedução foram estabelecidas para blocos prefabricados de betão, atendendo à experiência de utilização dos mesmos e ao seu comportamento em pavimentos rodoviários.

---

## CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Mantendo a qualidade do pavimento ao longo do tempo, está a aumentar-se a sua vida útil e a eficácia dos programas de conservação preventiva, melhorando-se também a segurança dos utilizadores e da circulação de bens. A parcela dos orçamentos disponíveis para trabalhos de conservação rodoviária nas autarquias é cada vez menor, o que implica uma diminuição do investimento em obras rodoviárias. Contudo, é necessário manter o património construído, devendo optar-se cada vez mais pela conservação preventiva dos pavimentos existentes, retardando assim a sua degradação, evitando a execução de trabalhos mais dispendiosos, profundos e com maior impacto na circulação rodoviária.

Neste manual adota-se uma classificação dos tipos de conservação em três níveis: preventiva, corretiva e de emergência.

A **conservação preventiva** tem como objetivo atrasar o aparecimento de degradações ou a sua progressão, diminuindo a necessidade de intervenções posteriores. Este tipo de conservação consiste na realização de reparações localizadas, ou de tratamentos superficiais.

A **conservação corretiva** tem como objetivo corrigir as patologias do pavimento, por exemplo através da reposição das características de atrito do pavimento, reparação de ninhos ou covas, eliminação da desagregação superficial, entre outros.

A **conservação de emergência** é executada quando ocorrem patologias que necessitam de uma reparação rápida pelos prejuízos e desconforto que possam causar aos utentes da estrada. É necessária quando as administrações rodoviárias adotam uma política de conservação inadequada. Nesses casos as ações de conservação preventiva e corretiva não são realizadas atempadamente, o que leva ao aparecimento de patologias mais graves. Aqui estão incluídas as intervenções temporárias realizadas para tornar possível a utilização do pavimento.

Existem várias técnicas de conservação de pavimentos, as quais devem ser escolhidas consoante o nível de degradação dos mesmos. Algumas aplicam-se em ações de conservação parciais e outras em intervenções contínuas, descrevendo-se neste capítulo as mais utilizadas.

### 4.1. Técnicas de Conservação Parcial

Para melhorar as características superficiais dos pavimentos utilizam-se técnicas de conservação que atuam na camada de desgaste de um pavimento flexível, desde que as características estruturais se mantenham adequadas.

Nas técnicas de conservação parcial incluem-se a selagem individual de fendas, a fresagem localizada, as reparações localizadas, e a abertura e tapamento de valas.

A **ranhuragem** é uma técnica que pode ser aqui incluída embora não seja considerada uma técnica de conservação, contribui para o bom desempenho dos pavimentos e consiste na abertura de ranhuras no pavimento, através de serragem, com profundidade média de 1 a 3 cm e 0,8 cm de largura, para aumentar a drenabilidade do pavimento, aumentando a velocidade de escoamento da água, de modo a evitar a acumulação de água na superfície do pavimento.



---

#### 4.1.1. Reparações Localizadas

As reparações localizadas são uma técnica comum de tratamento de uma área localizada, na superfície do pavimento, ou nas camadas inferiores deste que consiste na remoção dos materiais deficientes ou em mau estado, e substituição por materiais novos (LNEC, 2005). Nesta técnica incluem-se, por exemplo, a reparação de um remate de uma tampa de caixa, de visita ou inspeção, de infraestruturas subterrâneas, a reparação de um abatimento ou elevação (presença de raízes de árvores), reparação de covas ou ninhos, entre outros.

Os materiais utilizados nesta técnica são os seguintes:

- Material granular britado quando é necessário refazer as camadas granulares;
- Rega de impregnação com emulsão betuminosa, por exemplo, dos tipos C 50 BF 5 (ECI) ou C 60 BF 5 (ECL-1), aplicada sobre a camada não ligada subjacente às camadas betuminosas;
- Misturas betuminosas a frio, constituídas por agregados e emulsão betuminosa (preparadas e embaladas); ou misturas betuminosas a quente, mais difíceis de utilizar atendendo à necessidade de manter a temperatura adequada, exigindo equipamento específico e tendo um considerável consumo energético;
- Rega de colagem com emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida e de baixa viscosidade (por exemplo, do tipo C 60 B 4 (ECR-1));
- Produto para selagem de juntas, constituído por uma resina ou mástique betuminoso, composto por betume e fíler, para evitar a entrada de água.

A Ilustração 4. 1 ilustra alguns procedimentos de execução de uma reparação localizada, os quais se descrevem sumariamente:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança na área de trabalho;
- 2º. Limpeza de material solto e marcação do local de serragem com formato retangular até 0,30 m da área afetada (imagem A, na ilustração 4.1);
- 3º. Com uma serra com disco de corte procede-se ao corte do pavimento pela marcação, com bordos verticais até à profundidade necessária (imagem B, na ilustração 4.1);
- 4º. Remoção do material excedente, regularização do fundo e limpeza dos detritos com jato de ar que também ajuda a secar a superfície;
- 5º. Execução da sub-base se necessário, através da colocação e compactação de material granular britado ou solos selecionados e aplicação de rega de impregnação (imagem C, na ilustração 4.1);
- 6º. Aplicação de rega de colagem na superfície da cavidade, para garantir aderência entre camadas, quando a profundidade da cova não atingiu todas as camadas betuminosas;
- 7º. Colocação e espalhamento da mistura betuminosa, com altura acima da cota do pavimento, até 1/5 da profundidade da cova (imagem D, na ilustração 4.1);
- 8º. Compactação da mistura com cilindro de pequenas dimensões, placa vibratória ou maço, consoante dimensões da reparação (imagem E, na figura 4.1);
- 9º. Limpeza de materiais sobrantos e remoção da sinalização de segurança (imagem F, na f ilustração 4.1);
- 10º. Quando necessário, selar a junta de ligação do material colocado com o restante pavimento, utilizando mástique betuminoso.



Ilustração 4. 1 - Procedimentos de execução de reparação localizada

A execução de uma reparação localizada com misturas a quente deve ser efetuada com temperatura ambiente superior a 10°C. Se a profundidade da reparação for elevada, a mistura betuminosa deve ser colocada em camadas até 10 cm de espessura e compactada.

#### 4.1.2. Selagem Individual de Fendas

A selagem individual de fendas é um tratamento localizado de impermeabilização do pavimento, cujo objetivo é impedir ou atrasar a progressão da área afetada por fendas de pequena dimensão, impedindo a penetração de água para as camadas inferiores do pavimento e a entrada de detritos. Para assegurar que a selagem seja efetiva e duradoura, deve ser escolhido o método mais adequado, ou seja, selagem com serragem prévia ou sem serragem da fenda.

A selagem de fendas sem serragem é, em geral, aplicada em fendas de maior largura (superior a 1,5 cm) e com moderada deterioração dos bordos, uma vez que está assegurada a penetração do selante. A selagem de fendas com serragem é aplicada em fendas de menor largura e com mínima deterioração dos bordos, ou nenhuma, para promover o alargamento destas, criando uma espécie de reservatório que assegure a penetração do selante. As dimensões do corte dependem do estado da fenda, mas normalmente tem 1 cm de largura e 1 cm de profundidade. Em ambos os casos deve ser efetuado o remate da selagem. Na Ilustração 4. 2 evidenciam-se os dois métodos de selagem individual de fendas.

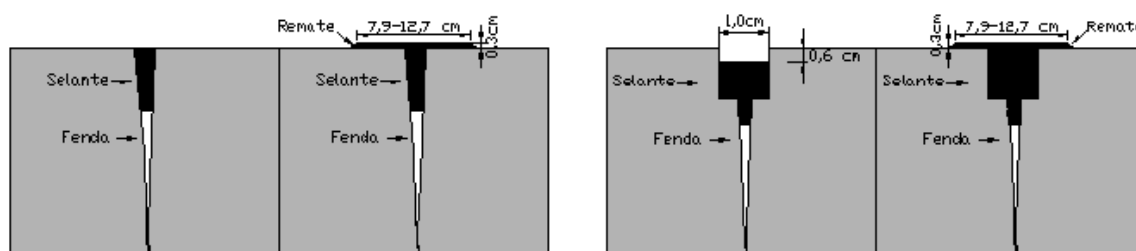


Ilustração 4. 2- Selagem individual de fendas sem serragem (imagem da direita) e com serragem (imagem da esquerda)

O selante é utilizado para ligar os bordos da fenda e quando em serviço deve resistir à abrasão e aos danos causados pelo tráfego, mantendo a capacidade para expandir ou para contrair no intervalo de temperaturas de serviço, sem romper e sem perder aderência às paredes da fenda. O material selante pode ser uma emulsão betuminosa, modificada com polímeros quando é necessária maior elasticidade, um mástique betuminoso ou betume puro.

Na Ilustração 4. 3 apresentam-se alguns procedimentos de execução da selagem individual de fendas, os quais se descrevem sumariamente:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Caso não seja necessária a serragem da fenda, procede-se à limpeza do pavimento e da fenda, através de jatos de ar ou areia comprimida, que ajudam a secar a humidade existente e a remover as partículas quase soltas (imagens C e D da Ilustração 4. 3);
- 3º. Se for necessária a serragem da fenda (espessura inferior a 1,5 cm), procede-se ao corte (imagem B da Ilustração 4. 3) e posteriormente à limpeza dos detritos, conforme descrito no ponto anterior;
- 4º. Aplicação do selante, a frio ou a quente, no interior a fenda ou corte com recurso a pistola de projecção ou equipamento semelhante, e execução do remate com um rodo (imagem E da Ilustração 4. 3) ou equipamento semelhante; quando o selante é aplicado a quente as paredes da fenda devem ser aquecidas com recurso a jatos de ar quente e deve cumprir o estabelecido na norma EN 14188-1;
- 5º. Espalhamento de agregado fino sobre o selante para garantir ao pavimento boas condições de aderência superficial e evitar que o selante adira aos pneus (imagem F da Ilustração 4. 3

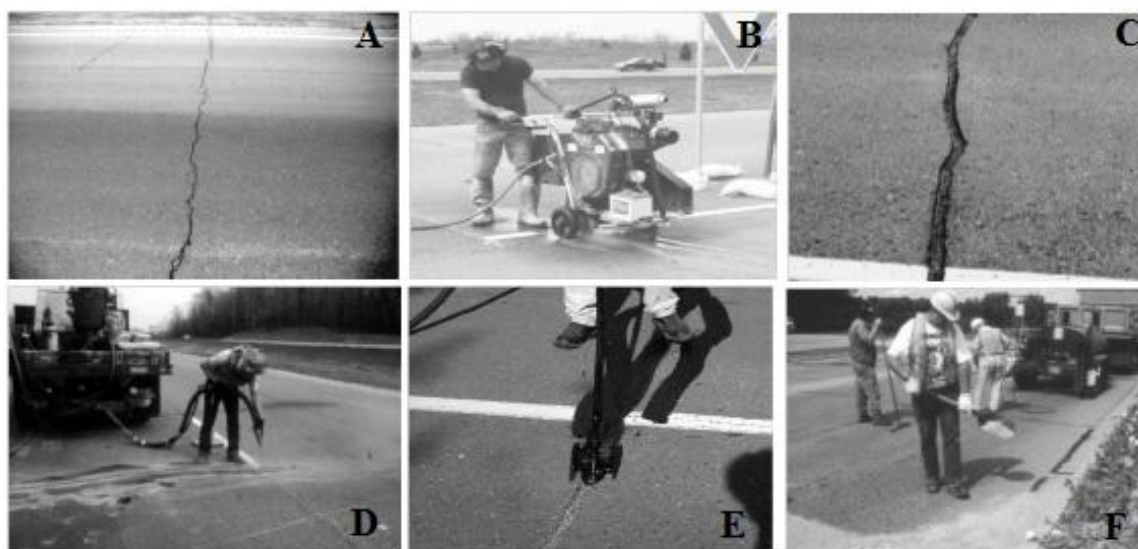


Ilustração 4. 3 - Procedimentos inerentes à selagem individual de fendas

Como as fendas sofrem dilatação e contração consoante a estação do ano, devido às diferenças de temperatura, os trabalhos de selagem devem ocorrer na primavera ou no outono, à temperatura ambiente entre os 7º e 18º, altura em que as fendas apresentam uma abertura intermédia entre a sua largura máxima (inverno) e largura mínima (verão), garantindo assim a correta aderência e penetração do selante.

### 4.1.3. Fresagem da Camada de Desgaste

A fresagem da camada de desgaste é uma técnica que permite corrigir degradações localizadas no pavimento, tais como os assentamentos, fendilhamento em malha, rodeiras, entre outros, através da remoção de camadas betuminosas superficiais.

Esta técnica que consiste na fresagem mecânica do pavimento até uma profundidade de 6 cm, podendo ser realizada uma segunda fresagem caso se verifique que a degradação é mais profunda. Na Ilustração 4. 4 é apresentado um esquema representativo da fresagem de um pavimento.

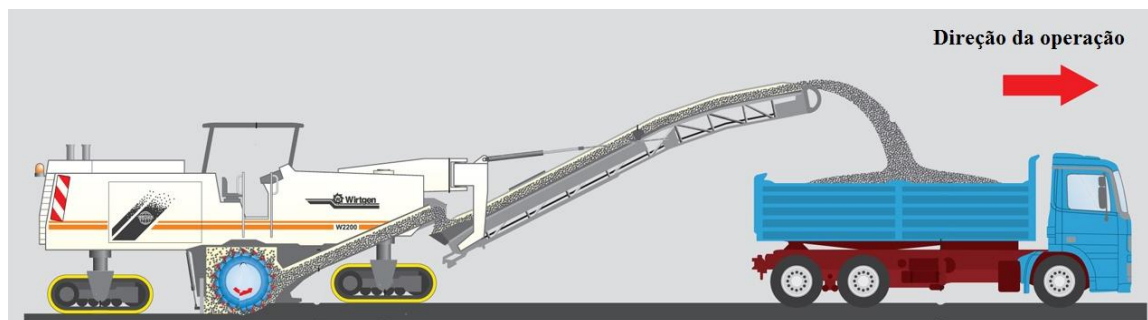


Ilustração 4. 4 - Esquema representativo da fresagem de pavimentos

Durante a fresagem, os dentes da fresadora devem ser arrefecidos com jatos de água, jatos estes que também controlam a poeira libertada durante o processo. O material fresado que não seja alvo de reciclagem deve ser transportado e colocado em local apropriado, por forma a não interferir com a área de trabalho e com o escoamento das águas pluviais.

### 4.1.4. Abertura e Tapamento de Valas

A necessidade de construção de infraestruturas de distribuição de água, eletricidade, gás, telecomunicações, entre outros, origina a necessidade de abertura de valas para a passagem de novas condutas, ou reparação/substituição de condutas existentes, e posterior tapamento.

Este processo nem sempre é executado de maneira correta, levando à degradação dos pavimentos, originando, por exemplo, assentamentos e fendilhamento. Cada entidade executora/gestora de infraestruturas subterrâneas estabelece condições gerais de execução (geometria da vala, condições de segurança, altura máxima de aterro a compactar, entre outros), como é o caso de algumas Câmaras Municipais através dos seus regulamentos. No entanto, os diferentes tipos de materiais a utilizar no aterro da vala e os parâmetros que influenciam a qualidade da compactação (velocidade de compactação, características de vibração do compactador, tipo de solo, teor em água, entre outros), são muitas vezes relegados para segundo plano ou mesmo ignorados, não obstante a importância daqueles parâmetros para a correta execução dos trabalhos.

A abertura das valas é o primeiro passo para a correta reposição do pavimento. Na abertura de valas em pavimentos flexíveis o corte longitudinal ou transversal das camadas betuminosas, deve ser executado com recurso a serras mecânicas ou equipamento específico para o efeito, para não danificar o restante pavimento.

Os bordos do corte deve ser, de preferência, realizado obliquamente, para melhorar as condições de compactação e de ligação na reposição das camadas betuminosas, ou realizado com bordos verticais, conforme se ilustra na Ilustração 4. 5. O corte e a remoção do pavimento betuminoso podem ser efetuados em simultâneo através da fresagem do pavimento.



Ilustração 4. 5 - Equipamento de corte e de corte e fresagem (direita) das camadas betuminosas

Concluída a escavação da vala é necessário proceder à instalação da tubagem e ao aterro e tapamento da mesma. A norma NF P 98-331:2005 estabelece os diferentes tipos de materiais a utilizar no preenchimento da vala, consoante a função de cada camada. Estes referem-se de seguida e ilustram-se na Ilustração 4. 6.

No leito de assentamento, também designado por almofada de areia, com espessura superior a 10 cm, deve ser utilizado material arenoso ou granular, de granulometria 2/4 ou 4/6, e compactada com um grau de compactação igual a 87% do ensaio Proctor Normal.

Como material de envolvimento da tubagem deve ser utilizado material granular, de granulometria descontínua, com dimensão variável consoante o diâmetro do tubo, assim para  $\varnothing \leq 200$  mm a dimensão máxima do agregado é 22 mm e para  $\varnothing > 200$  mm a dimensão mínima do agregado é 22 mm. São materiais obtidos por crivagem, sem finos, ideais para zonas com elevados níveis freáticos (permanentes ou temporários), pois são insensíveis à presença de água. O grau de compactação desta camada deverá ser igual a 90% do ensaio Proctor Normal.

Como existe alguma dificuldade de compactação deste tipo de material, também devido ao facto de estar em redor da tubagem, em alternativa ao material granular pode ser utilizado material autocompactável (betão autocompactável), escavável a longo prazo, à base de ligante hidráulico, de baixa resistência ( $<0,7$  MPa ou no máximo 2MPa). Em solos permeáveis, a fluidez desta mistura consegue-se através da adição de uma elevada quantidade de água. Se não for possível a adição de água na mistura, a fluidez é obtida com a adição de adjuvantes (introdutores de ar ou superplastificantes). Através da adição de aceleradores de presa que promovam o rápido endurecimento da mistura, é possível trabalhar sobre a camada ao fim de 3 horas.

De acordo com a referida norma francesa, podem considerar-se duas zonas de aterro na vala: a parte inferior e a parte superior. A função da parte inferior do aterro, compactado com um grau de compactação igual a 95% do ensaio Proctor Normal, em conjunto com a zona de envolvimento é evitar assentamentos, suportando os solos envolventes. A função da parte superior do aterro, ou camada de forma, compactado com um grau de compactação igual a 98,5% do ensaio Proctor Normal, é facilitar a compactação das camadas superiores.



Para a construção do aterro da vala pode ser utilizado material autocompactável com as características acima descritas, ou material granular cuja dimensão máxima é função da largura da vala ( $D < 1/10$  da largura) e da espessura da camada ( $D < 1/5$  da espessura). Não é aconselhada a utilização do solo que resultou da escavação, uma vez que as suas características são variáveis que prejudicam as condições de compactação do aterro.

As camadas estruturais e de desgaste construídas sobre a vala devem ter propriedades iguais às exigidas para o pavimento existente, por forma a fornecer o desempenho mecânico suficiente para resistir ao tráfego e restabelecer a impermeabilidade do pavimento.

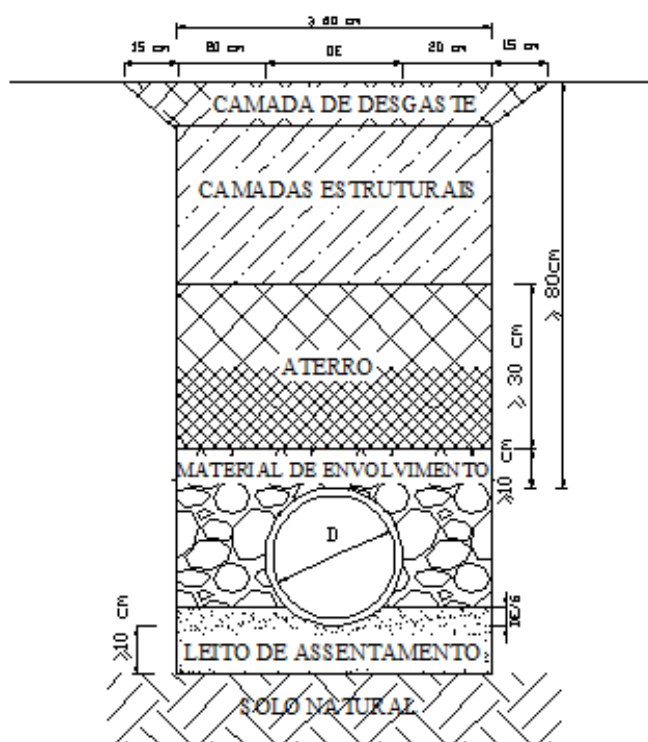


Ilustração 4. 6 - Diferentes camadas de preenchimento das valas

Os procedimentos inerentes à execução da abertura e tapamento de valas em pavimentos, descrevem-se sumariamente de seguida e ilustram-se na Ilustração 4. 7:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos e delimitação da área da vala, por exemplo com giz, com largura acrescida de 15 cm à largura da vala (imagem A da Ilustração 4. 7);
- 2º. Corte do pavimento, com bordos oblíquos ou verticais, e remoção do pavimento betuminoso, ou fresagem deste (imagem B da Ilustração 4. 7);
- 3º. Escavação até à profundidade pretendida com paredes verticais, com recurso a valadoras, ou retroescavadoras ou giratória de rastros (imagem C da Ilustração 4. 7);
- 4º. Colocação de entivação nas paredes da vala para profundidades superiores a 1,2 m (ou conforme o tipo de terreno);
- 5º. Regularização do fundo da vala e execução de almofada de areia, com espessura mínima de 10cm (imagem D da Ilustração 4. 7), colocação da tubagem e envolvimento desta com material de envolvimento;

- 6º. Execução do aterro com material granular, compactado em camadas de 20cm ou betão autocompactável, que compacta sob ação do próprio peso, permite trabalhar na presença de alguma água, tem risco mínimo de assentamentos e permite enchimento de valas estreitas e congestionadas com infraestruturas, até à cota das camadas estruturais (imagem E da Ilustração 4. 7);
- 7º. Execução das camadas estruturais com as mesmas características do pavimento existente e compactação, até à cota da camada de desgaste (imagem E da Ilustração 4. 7);
- 8º. Aplicação de rega de impregnação sobre a superfície da camadas estrutural se granular, ou execução de rega de colagem sobre uma cada camada betuminosa antes da construção da seguinte;
- 9º. Execução da camada de desgaste com as mesmas características do pavimento existente e compactação (imagem F da Ilustração 4. 7).

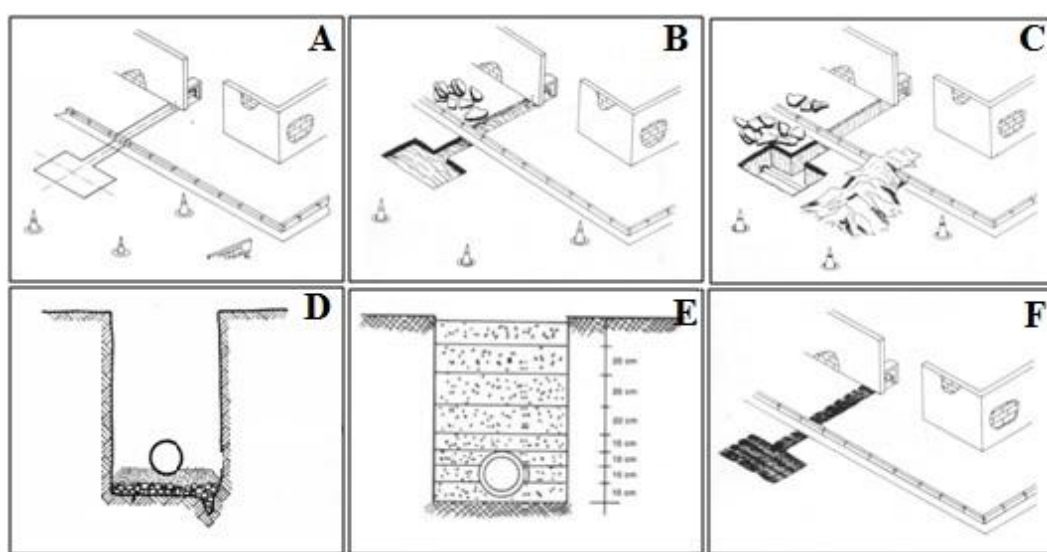


Ilustração 4. 7 - Procedimentos de abertura e tapamento de valas em pavimentos flexíveis

## 4.2. Técnicas de Conservação Contínua

Nas técnicas de conservação das características superficiais, particularmente úteis para estradas de gestão municipal, incluem-se os revestimentos superficiais betuminosos, o microaglomerado betuminoso a frio, a lama asfáltica, a membrana de proteção, o microbetão rugoso, a argamassa betuminosa e o betão betuminoso drenante, os quais irão descrever-se nos títulos seguintes.

Existem ainda as regas que não sendo técnicas de conservação contribuem para o bom desempenho das técnicas já referidas. As regas podem ser de impregnação, colagem ou cura. A rega de colagem usa-se normalmente para assegurar a ligação e um funcionamento conjunto das camadas betuminosas do pavimento, consistindo na aplicação de um ligante betuminoso sobre a superfície, sendo o ligante, normalmente, uma emulsão catiónica de rotura rápida e de baixa viscosidade do tipo C 60 BP 4 (ECR-1mod).

A rega de impregnação consiste na aplicação de uma emulsão catiónica de impregnação do tipo C 50 BF 5 (ECI) ou C 60 BF 5 (ECL-1), sobre uma camada de material granular para a sua impermeabilização e estabilização superficial.

A rega de cura é usada para evitar a evaporação prematura da água, de modo a facilitar o processo de cura de materiais que incorporam ligantes hidráulicos. Consiste na aplicação de uma película de emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida e de baixa viscosidade do tipo C 60 B 4 (ECR-1), sobre uma camada tratada com ligante hidráulico.

#### 4.2.1. Revestimentos Superficiais Betuminosos

Um revestimento superficial consiste numa ou mais operações de espalhamento de um ligante betuminoso sobre uma superfície, seguido de uma ou mais operações de espalhamento de agregado, com a finalidade de melhorar principalmente as características superficiais do pavimento. É habitual considerar que esta técnica apresenta a melhor relação benefício/custo para reabilitar as características de impermeabilidade e/ou de rugosidade de camada de desgaste. Os revestimentos melhoram ainda as características antiderrapantes, reduzem as projeções de água dos pneus em tempo chuvoso e impedem a entrada de água no pavimento, melhorando a sua capacidade de suporte (Figueiredo, 2011).

Nas suas diversas formas, os revestimentos superficiais têm várias designações: revestimento superficial simples, revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado, revestimento superficial duplo e revestimento superficial simples com aplicação prévia do agregado. Este último também é designado por revestimento superficial sandwich ou inverso. A constituição e o aspeto da superfície dos vários tipos de revestimentos superficiais estão representados na Ilustração 4. 8.

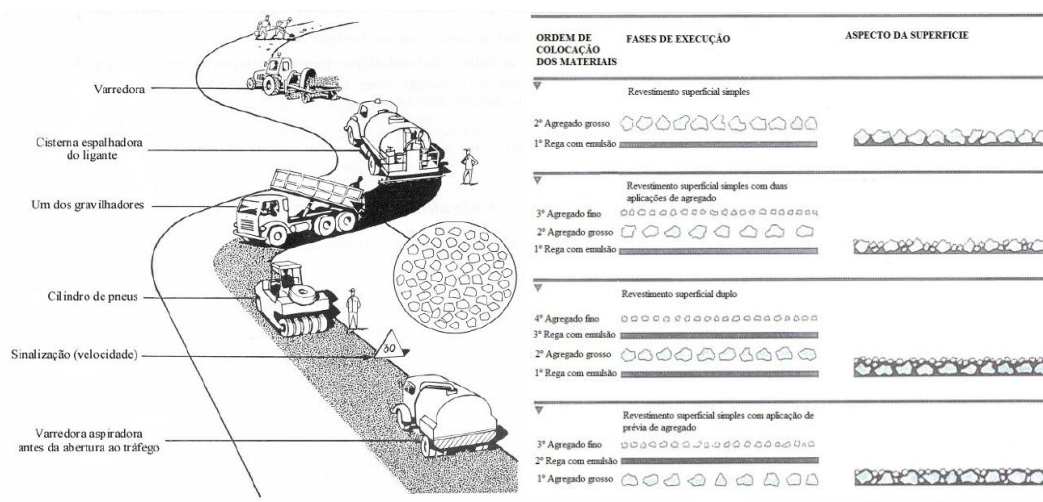


Ilustração 4. 8 - Execução de um revestimento superficial simples (esquerda), constituição e textura superficial dos revestimentos superficiais (direita).

A maior parcela constituinte dos revestimentos superficiais é a dos agregados. Estes devem ser de boa qualidade e deverão apresentar uma grande resistência mecânica, devendo possuir dimensões homogêneas, com a forma o mais cúbica possível, para aumentarem a rugosidade do pavimento.

As emulsões mais utilizadas na técnica de revestimentos superficiais são as emulsões de natureza catiónica de rotura rápida, pois a carga das partículas de betume é positiva, e a rotura é rápida, ou seja, a separação irreversível das fases constituintes (água e betume) acontece



rapidamente, o que faz com que a interrupção do tráfego seja menos demorada. A emulsão deve ter elevada viscosidade, um teor de ligante alto, e boa adesividade aos agregados. É normal recorrer-se a emulsões com ligantes modificados sempre que o tráfego e/ou as condições climáticas sejam mais exigentes.

Os revestimentos superficiais apresentam algumas vantagens, tais como alta flexibilidade, adaptação a grandes deformações, baixo custo, rapidez de execução, excelente aderência pavimento/pneu e elevada durabilidade. No entanto são suscetíveis ao aparecimento de patologias em idade jovem (rejeição dos agregados, penteado ou peignage, peladas e exsudação) devido à posição e condições de funcionamento dos pulverizadores da emulsão que pode provocar descontinuidades no espalhamento da mesma.

Os revestimentos superficiais são compostos por agregados e emulsões betuminosas, a dimensão dos agregados e a quantidade dos agregados e ligante é variável consoante o tipo de revestimento. Na Tabela 4.2.1 apresenta-se uma síntese da dimensão dos agregados e das taxas de espalhamento dos constituintes de revestimentos superficiais.

Tabela 4.2.1- Características dos agregados e taxa de aplicação do agregado e ligante

| Tipo de revestimento                     | Granulometria | Taxa de aplicação            |  |               |
|--|---------------|------------------------------|--|---------------|
|  |               | Agregado (l/m <sup>2</sup> ) | Ligante Residual (kg/ m <sup>2</sup> ) |               |
|  |               |                              | (EP, 2009)                             | (USIRF, 2006) |
| Simples                                  | 4/6           | 6 a 7                        | 0,9                                    | 1,3           |
|  | 6/10          | 8 a 9                        | 1,2                                    | 1,75          |
|  | 10/14         | 11 a 13                      | 1,5                                    | 2,15          |
| Simples com duas aplicações de agregado  | 6/10 - 2/4    | 6 a 7 – 3 a 4                | 1,2                                    | 1,75          |
|  | 10/14 - 4/6   | 8 a 9 - 4 a 5                | 1,5                                    | 2,15          |
| Duplo                                    | 6/10 - 2/4    | 7 a 8 – 4 a 5                | 0,7 +0,9                               | 1+1,3         |
|  | 10/14 - 4/6   | 10 a 11 – 6 a 7              | 0,9 +1,0                               | 1,1+1,4       |
| Simples com aplicação prévia do agregado | 6/10 - 2/4    | 7 a 8 – 4 a 5                | não especificado                       | 1,75          |
|  | 10/14 - 4/6   | 10 a 11 – 6 a 7              |  | 2,1           |

O **revestimento superficial simples** do pavimento consiste na aplicação de ligante betuminoso, espalhamento de camada de agregado granular de pequenas dimensões e compactação. Adequado para vias de baixo tráfego (TMDA-Tráfego Médio Diário Anual  $\leq 300$ ) pois tem baixa resistência a esforços tangenciais e o pavimento existente não pode apresentar grandes deformações.

O **revestimento superficial simples com duas aplicações de agregado** consiste na aplicação de ligante betuminoso, espalhamento de agregado granular grosso seguido de compactação, espalhamento de agregado granular fino e compactação. Adequado para vias de tráfego intenso, rápido e pesado, tem boas condições de aderência e drenagem superficial elevada.

O **revestimento superficial duplo** consiste numa primeira aplicação de ligante betuminoso, espalhamento de agregado granular grosso, compactação e numa segunda aplicação do ligante, seguido de espalhamento de agregado granular fino e compactação. Adequado para vias de

---

tráfego intenso e rápido, com suporte heterogêneo e permeável e com patologias de grandes dimensões (após reparação).

O **revestimento superficial simples com aplicação prévia de agregado** consiste no espalhamento de agregado grosso, aplicação de ligante betuminoso, seguido do espalhamento camada de agregado granular fino e compactação. Adequado para pavimentos com exsudação.

A norma CSN EN 12271 descreve os requisitos de desempenho e os procedimentos de controle na execução dos revestimentos superficiais. Existem condicionantes na execução dos revestimentos superficiais. Não devem ser executados na presença de água, o espalhamento do agregado deve ser homogêneo e a temperatura ambiente deve ser sempre superior a 10°C e adequada ao tipo de ligante utilizado.

A execução deste tipo de revestimentos deve ser precedida da limpeza do pavimento com recurso a vassoura mecânica ou jatos de ar e a compactação deve ser efetuada com cilindro de pneus para evitar o esmagamento do agregado.

#### **4.2.2. Microaglomerado Betuminoso a Frio ou “Macro-seal”**

O microaglomerado betuminoso a frio é uma mistura betuminosa especial densa fabricada à temperatura ambiente, rugosa e impermeável, composta por emulsão betuminosa de rotura lenta ou controlada, agregado fino bem graduado, filler (cimento ou cal hidratada), aditivos para controlar a rotura da emulsão e água para conferir trabalhabilidade, nas proporções certas. Tem consistência adequada para aplicação contínua e imediata colocação em obra. Adequado para pavimentos com fendilhamento ligeiro, envelhecimento superficial ou com falta de ligante, peladas e desprendimento e polimento de agregados.

Este tipo de revestimento é aplicado como camada selante, impermeabilizante e antiderrapante. É uma técnica de elevado rendimento e de custo reduzido. Pode ser aplicado em meio urbano, pois praticamente não aumenta a espessura do pavimento, ou aumenta pouco, e pode contribuir para uma diminuição do ruído.

É uma alternativa eficiente, económica e ambientalmente atrativa, para a realização de ações de conservação, assim como para a melhoria das características superficiais requeridas nos pavimentos, sendo utilizado em tratamentos superficiais de melhoria das características superficiais (textura superficial e resistência ao deslizamento) de pequena espessura (normalmente  $\leq 1,5$  cm), numa ou duas camadas.

Estes materiais têm uma consistência relativamente fluida, o que permite um fácil espalhamento sobre a superfície dos pavimentos. No entanto, ao endurecerem, a sua coesão e dureza aumentam, proporcionando uma superfície resistente à ação abrasiva do tráfego. As normas EN 12273 e EN12274 (CEN, 2008; CEN, 2005) contêm os requisitos e métodos de ensaio para o microaglomerado betuminoso a frio.

Existem alguns cuidados a ter aquando do espalhamento do microaglomerado. Quando a mistura é aplicada por faixas longitudinais, deve estabelecer-se uma sobreposição de 10 cm entre faixas contíguas. No caso de tratamentos duplos, as zonas de sobreposição da primeira

---

aplicação não devem coincidir com as da segunda. O espalhamento deve ser feito de forma contínua, homogênea, de modo a que a superfície apresente uma textura regular, uniforme e sem segregações, e deve aguardar-se a rotura da emulsão para abrir a via ao tráfego, limitando a velocidade a 50km/h.

#### **4.2.3. Lama Asfáltica ou “Slurry-seal”**

A lama asfáltica é uma mistura betuminosa constituída por agregados finos (grande percentagem de agregados com dimensões inferiores a 2 mm) e emulsão betuminosa, colocada em camada com espessura não superior a 2 cm. É um tratamento superficial utilizado como uma ação preventiva e corretiva em pavimentos rodoviários. Não pode ser entendido como um reforço estrutural do pavimento, mas protege e prolonga a vida útil do pavimento porque reduz a penetração de água para as camadas inferiores.

Esta técnica pode ser utilizada em colmatação de fendas e impermeabilização do pavimento, e sob uma interface antifendas antes da execução de uma camada de reforço. As normas EN 12273 e EN12274 contêm os requisitos e métodos de ensaio para a lama asfáltica.

O espalhamento da mistura deve ser efetuado sobre a superfície existente previamente limpa e precedido da aplicação de rega de colagem (confere maior aderência).

Existem alguns cuidados a ter durante o espalhamento da lama asfáltica. Deve aguardar-se o tempo de rotura da emulsão, antes da abertura ao tráfego, não é aconselhada a aplicação com chuva ou com humidade no pavimento, pois pode dar-se a desagregação da mistura. Também não deve aplicar-se lama asfáltica sobre superfícies com deformação estrutural ou com fendilhamento do tipo pele de crocodilo, nem utilizar-se sobre pavimentos lisos (ou polidos) ou em vias com tráfego intenso.

Esta técnica tem um rendimento elevado, atendendo à facilidade de espalhamento da mistura. No entanto reduz a macrotextura e a microtextura do pavimento, diminuindo a aderência, principalmente em piso molhado.

#### **4.2.4. Membrana de Proteção ou “Fog-seal”**

A membrana de proteção é uma emulsão betuminosa catiónica, de rotura rápida e de baixa viscosidade, aplicada para melhorar as ligações das partículas à camada de suporte, sobre a camada de desgaste. O uso justifica-se quando se pretende impermeabilizar a camada de desgaste, melhorar a ligação das partículas de agregado ao suporte e a homogeneidade da superfície do pavimento, aumentar a visibilidade da marcação rodoviária e rejuvenescer a superfície do pavimento em vias de baixo tráfego.

Existem alguns cuidados a ter aquando da aplicação da membrana de proteção: a sua distribuição deve ser uniforme, sem falhas ou sobreposições, deve aguardar-se o tempo de rotura da emulsão, entre 4 a 6 horas, antes da abertura ao tráfego; deve ser aplicada sobre uma camada de desgaste estável. Trata-se de uma técnica de baixo custo mas a aplicação excessiva de emulsão pode originar um filme betuminoso inadequado que reduz a aderência entre o pneu e o pavimento.

---

#### **4.2.5. Microbetão Betuminoso rugoso ou AC 10 surf ligante**

O microbetão betuminoso rugoso é uma mistura betuminosa a quente composta por ligante hidrocarbonado (cerca de 5%), agregados (granulometria 0/10, com descontinuidade na fração 2/6), fíler, polímeros e aditivos, fabricada de modo a que todas as partículas de agregado sejam cobertas com uma película de ligante. O seu processo de fabrico implica o aquecimento do ligante e dos agregados, e a sua aplicação em obra é realizada a temperaturas típicas das misturas betuminosas a quente, significativamente superiores à temperatura ambiente.

É aplicado em vias de tráfego elevado e rápido com adequada capacidade estrutural, para melhorar as características de regularidade e aumentar a aderência, ou seja a reposição da textura superficial, com espessura entre os 2,5cm e os 3,5 cm. As características desta mistura betuminosa estão descritas na norma NP EN 13108-1:2006.

Trata-se de uma mistura betuminosa de alta durabilidade, que em alguns casos promove a diminuição do ruído, de baixo custo e rápida execução. No entanto, confere baixa impermeabilização pois tem granulometria descontínua (a sobredosagem da rega de colagem pode ser uma medida para atenuar este problema). Não deve ser executada com temperatura ambiente inferior a 10°C, nem na presença de chuva.

#### **4.2.6. Argamassa Betuminosa ou AC 14 surf ligante**

A argamassa betuminosa é uma mistura betuminosa a quente, composta por ligante hidrocarbonado, agregados, fíler, polímeros e aditivos, fabricada de modo a que todas as partículas de agregado sejam cobertas com uma película de ligante, aplicada na recuperação da camada de desgaste e na reabilitação minimalista de características superficiais do pavimento, em vias com tráfego pouco severo e com fendilhamento generalizado do pavimento. Em geral utiliza-se argamassa betuminosa com betume modificado, sendo utilizada essencialmente para executar interfaces retardadoras do processo de propagação de fendas, sendo uma das técnicas mais utilizadas em Portugal com essa finalidade.

As características desta mistura betuminosa estão descritas na norma NP EN 13108-1:2006. É uma mistura com elevada deformabilidade e baixa capacidade de suporte e não devendo ser executada com temperatura ambiente inferior a 10°C, nem na presença de chuva.

#### **4.2.7. Betão Betuminoso Drenante ou “Porous Asphalt”**

O betão betuminoso drenante é uma mistura betuminosa aberta, com porosidade elevada (22% a 30%), de granulometria descontínua, com diâmetro nominal máximo do agregado de 14 mm (granulometria 0/10 ou 0,14), fíler, polímeros e aditivos. É utilizado em camada de desgaste com cerca de 4 cm de espessura e permite que a drenagem da água da chuva ocorra no interior da camada superficial, até às bermas ou sistemas de drenagem e não na superfície do pavimento, como é habitual. É ideal para vias com tráfego elevado e rápido, onde é mais propícia a ocorrência de fenómenos de hidroplanagem.

Algumas das vantagens de utilização do PA são, por um lado, a menor resistência ao rolamento dos pneus, o que se traduz em economia de combustível, maior segurança a alta velocidade devido à aderência proporcionada, melhoria da regularidade transversal e redução do ruído. Por outro lado, tem menor resistência ao efeito abrasivo do tráfego, é propenso à colmatação dos vazios (perda de permeabilidade em 5 ou 6 anos), tem fraca durabilidade e não contribui para a impermeabilização das camadas inferiores do pavimento.

O PA só deve ser aplicado em estradas inseridas em zonas onde não haja ocorrência de neve ou formação de gelo e com um regime de pluviosidade razoavelmente constante. Estas misturas não devem ser aplicadas sobre tabuleiros de obras de arte que não estejam devidamente impermeabilizados e, em qualquer caso, devem prever-se sistemas específicos de captação e eliminação de água infiltrada através do pavimento.

### 4.3. Seleção da Técnica de Conservação

A seleção da técnica de conservação para um determinado pavimento contempla três fases distintas segundo o LNEC. Na primeira fase caracteriza-se o estado do pavimento, identificam-se as condicionantes e as exigências de desempenho do mesmo. Na segunda fase é a análise de possíveis soluções técnicas no que se refere à sua eficiência e durabilidade. Na terceira fase faz-se a seleção da solução final, sendo analisado o seu desempenho, condicionantes e custo-benefício.

No que respeita a pavimentos flexíveis, o LNEC estabelece a eficiência do tratamento superficial consoante as patologias existentes no pavimento. Na Ilustração 4. 9 é apresentado um extrato dessa matriz de decisão.

| Tratamentos Superficiais    |    | Anomalia      |                       |                             |                        |                          |                     |
|-----------------------------|----|---------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|
|                             |    | Fendilhamento | Cavados de rodela (a) | Irregularidade longitudinal | Defeitos de superfície | Resistência à derroçagem | Capacidade de carga |
| Revestimento superficial    | CP |               |                       |                             |                        |                          |                     |
|                             | LP |               |                       |                             |                        |                          |                     |
| Selagem das fendas / juntas | CP |               | NA                    | NA                          | NA                     | NA                       | NA                  |
|                             | LP |               | NA                    | NA                          | NA                     | NA                       | NA                  |
| Reparação localizada        | CP | (1)           | (5)                   | (5)                         |                        |                          |                     |
|                             | LP | (1)           | (5)                   | (5)                         |                        | NA                       | (5)                 |

Legenda:

(1) Para fendilhamento superficial localizado;  
(2) Elevada para fendilhamento com um nível de severidade baixo. Não é recomendada a aplicação de camadas drenantes sobre pavimentos fendilhados;  
(3) Aplicável apenas em estradas com baixo volume de tráfego rodoviário;  
(4) Se o fendilhamento é originado pela fadiga e reflexão a sua eficiência é moderada;  
(5) Para cavados de rodela localizados;  
(6) Aplicável a deformações pouco profundas, dependendo da espessura da camada;  
(7) Para problemas localizados de capacidade de carga, reparação localizada em profundidade apresenta uma eficiência moderada;  
CP – Curto prazo; LP – Longo prazo; NA – Não aplicável

Chave de cores:

|  |       |          |      |
|--|-------|----------|------|
|  | Baixo | Moderado | Alto |
|--|-------|----------|------|

Ilustração 4. 9 - Extrato da matriz de eficiência dos tratamentos superficiais para pavimentos flexíveis do LNEC

Segundo o extrato matriz da Ilustração 4. 9, o revestimento superficial é de baixa eficiência no tratamento de rodeiras, moderada eficiência no tratamento, a curto prazo, do fendilhamento e de alta eficiência na correção de defeitos de superfície. As reparações localizadas têm uma eficiência moderada na correção de rodeiras localizadas e alta eficiência na correção do fendilhamento a curto prazo.

Também a EP, no seu manual PAV\_TEC, sugere matrizes de decisão para a seleção da técnica de conservação preventiva em função da longevidade dos diferentes tipos de tratamentos para pavimentos flexíveis. Na Ilustração 4. 10 apresenta-se um extrato de uma dessas matrizes.

| Classe de tratamento                                | Técnica de tratamento      | Custo €/m2 | Factor condicionante (anomalia) |                                   |                                  |  |                              |   |  |                             |                     |  |                                 |           |
|---|----------------------------|------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------|---|--|-----------------------------|---------------------|--|---------------------------------|-----------|
|   |                            |            | fendilhamento por fadiga        | Fendilhamento superficial/térmico | Resistência à reflexão de fendas | Preenchimento de cavados de rodagem resultantes de deformação permanente da fundação [D] | Resistência à derrapagem [G] | Defeitos de superfície (rachas, pedregalho, desagregação, etc.) | Transformação permanente de misturas betuminosas (cavados de rodagem de base estática) | Irregularidade longitudinal | Capacidade de carga | Prevenção da entrada de água para o interior do pavimento (selagem das juntas, etc.) | Drenabilidade da superfície [G] | Ruído [G] |
| Camada betuminosa fina (≤50mm) com mistura a quente | 0,05m AC14surf [B8]        | 4,80       |                                 |                                   | NA                               |  | NA                           |   | NA   | (3)                         |                     |  | NA                              | NA        |
|   | 0,05m AC20reg [MB] [A]     | 4,40       |                                 |                                   | NA                               |  | (1)                          |   | NA   | (3)                         |                     |  | (1)                             | (1)       |
|   | 0,04m PA12,5 [B8a] [B] [E] | 4,30       | NA                              | NA                                | NA                               | NA   |                              |   | NA   | NA                          | NA                  | NA   |                                 |           |
|   | 0,035m AC10surf [mB8r] [E] | 4,50       | NA                              | NA                                | NA                               | NA   |                              |   | NA   | NA                          | NA                  |  |                                 |           |
|   | 0,04m AC14surf [B8r] [E]   | 4,20       |                                 |                                   | NA                               |  |                              |   | NA   | (3)                         |                     |  |                                 |           |
|   | 0,035m MBA-88A [F]         | 6,22       | NA                              |                                   | NA                               | NA   |                              |   | NA   | NA                          | NA                  |  |                                 |           |
|   | 0,04m MBA-88A [F]          | 7,45       |                                 |                                   | NA                               |  |                              |   | NA   | (3)                         | NA                  |  |                                 |           |
|   | 0,035m MBA-88M [E]         | 5,75       | NA                              |                                   | NA                               | NA   |                              |   | NA   | NA                          | NA                  |  |                                 |           |

Código:

Piora (o desempenho do pavimento pode diminuir para a anomalia em causa)

Melhora pouco (as características superficiais são melhoradas e a resolução do problema é protelada por curto/médio prazo)

Melhora muito (as características superficiais são melhoradas e o problema é total ou parcialmente solucionado por curto/médio prazo)

NA

Não aplicável (solução não adequada à resolução/distância da anomalia ou tendo em conta o ponto 0 adoptado)

- (1) Dependendo do tipo de mistura colocada na camada de desgaste  
(2) Dependendo da profundidade da fissuração  
(3) Apenas para correção de valores de irregularidade < 0,04 mm  
(4) Para baixos níveis de irregularidade  
(5) Dependendo da profundidade do cavado e/ou do tipo de betume

#### Ilustração 4. 10 - Extrato da matriz de decisão das técnicas de tratamentos superficiais da EP

Conforme se pode verificar na matriz da Ilustração 4. 10, uma camada betuminosa AC10surf com 35mm de espessura, quando aplicada para conferir resistência à derrapagem, melhora muito as características superficiais do pavimento e corrige ou elimina a anomalia a curto ou médio prazo.

Num trabalho recente, e após o inquérito realizado a vários Municípios, aplicou-se uma metodologia de apoio à decisão, para facilitar a escolha da técnica de conservação pelos técnicos municipais, através de uma análise multicritério, na qual se avaliam as alternativas de técnicas de conservação com base em critérios de custo e benefício (C2 até C4, e B1 até B4). A avaliação considera a importância dessas alternativas em relação aos critérios estabelecidos, em que 1 corresponde a mau, 2 corresponde a medíocre, 3 corresponde a razoável, 4 corresponde a bom e 5 corresponde a muito bom, conforme se ilustra na Tabela 4.3.1 que se reproduz do referido trabalho.

Os critérios de custo foram estabelecidos para minimizar o seu impacto, assim, o custo C1 corresponde ao custo da solução (materiais + execução), o custo C2 corresponde à perturbação para os utentes durante a intervenção /tempo de execução, o custo C3 diz respeito à disponibilidade de empreiteiros/equipamentos e o custo C4 corresponde ao custo inerente à alteração das cotas de soleira.

Por outro lado, os critérios de benefício foram maximizados, assim, o benefício B1 corresponde à impermeabilidade do pavimento, o benefício B2 corresponde à textura/rugosidade/atrito, o benefício B3 corresponde à regularidade e o benefício B4 caracteriza a influência na capacidade resistente conferida.

Tabela 4.3.1 – Técnica de conservação em função do IQ e do tipo de via

| VIA  | IQ        | ORDENAÇÃO DAS TÉCNICAS | TÉCNICA DE CONSERVAÇÃO A APLICAR  |
|--|-----------|------------------------|---|
| <b>Distribuidora Principal (Via Arterial)</b>  | 2,5 a 3,5 | 1ª                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento Superficial Simples</li> <li>Revestimento Superficial Duplo</li> </ul>  |
|  |           | 3ª                     | Revestimento Superficial Simples + Fog-Seal   |
|  |           | 4ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lama Asfáltica</li> <li>AC 14 Surf (Betão Betuminoso)</li> </ul>   |
|  | <2,5      | 1ª                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2ª                     | AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  |           | 3ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Microbetão rugoso</li> <li>Reperfilamento com AC 14 reg -ligante + Microaglomerado betuminoso a frio simples</li> </ul>                                  |
|  |           | 4ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento Superficial Simples</li> <li>Revestimento Superficial Duplo</li> </ul>  |
| <b>Distribuidora Secundária (Via Coletora)</b> | 2,5 a 3,5 | 1ª                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2ª                     | Revestimento Superficial Duplo  |
|  |           | 3ª                     | Revestimento Superficial Simples  |
|  |           | 4ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento Superficial Simples + Fog-Seal</li> <li>AC 14 Surf (Betão Betuminoso)</li> </ul>  |
|  | <2,5      | 1ª                     | AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  |           | 2ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento Superficial Duplo</li> <li>Microbetão rugoso</li> <li>Microaglomerado betuminoso a frio</li> </ul>  |
|  |           | 3ª                     | Fresagem + reparação de covas + rev. Sup. Duplo   |
|  |           | 4ª                     | Revestimento Superficial Simples  |
| <b>Acesso Local (Via Local)</b>                | 2,5 a 3,5 | 1ª                     | Revestimento Superficial Simples  |
|  |           | 2ª                     | Revestimento Superficial Duplo  |
|  |           | 3ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento Superficial Simples + Fog-Seal</li> <li>Microaglomerado betuminoso a frio</li> </ul>  |
|  |           | 4ª                     | AC 14 Surf (Betão Betuminoso)   |
|  | <2,5      | 1ª                     | Microaglomerado betuminoso a frio   |
|  |           | 2ª                     | Microbetão rugoso   |
|  |           | 3ª                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Revestimento Superficial Duplo</li> <li>AC 14 Surf (Betão Betuminoso)</li> <li>Fresagem + reparação de covas + Revestimento Superficial Duplo</li> </ul> |
|  |           | 4ª                     | Reperfilamento com AC 14 reg -ligante + Microaglomerado betuminoso a frio simples   |

A técnica sugerida em primeiro lugar para cada situação pode não ser a mais adequada para uma situação mais específica. Contudo, as classificações obtidas pela aplicação do método de apoio à decisão permitem que um técnico não especializado possa verificar quais as soluções técnicas mais plausíveis.



---

## 4.4. Técnicas Inovadoras

Nesta secção são apresentadas técnicas de conservação inovadoras, pouco ou nada utilizadas no nosso país, mas com alguma utilização no resto do mundo. A não utilização destas técnicas poderá dever-se ao custo inerentes às mesmas, inexistência de equipamento e mão de obra especializada que permita a sua execução, entre outros. Também aqui se faz a distinção entre técnicas de conservação parciais e contínuas.

### 4.4.1. Conservação Parcial

As reparações com recurso a painéis radiantes de infravermelhos e a projecção de mistura betuminosa, são dois métodos com custos reduzidos e elevado rendimento. São duas técnicas de conservação para reparações localizadas que podem ser uma boa opção para uma gestão viária de âmbito municipal.

#### ▪ Reparação localizada com painéis radiantes de infravermelhos

Um dos métodos de conservação inovadores é o recurso a painéis radiantes de infravermelhos, para a realização de reparações localizadas e reparação de zonas fendilhadas. É uma técnica que necessita de pouca mão de obra e é de rápida execução, tornando-se uma opção mais barata relativamente à reparação tradicional. O painel radiante de infravermelhos, portátil ou acoplado a um veículo, aquece o pavimento betuminoso em profundidade, desde 5cm até 12cm. A camada betuminosa absorve os infravermelhos através do processo de transferência de calor por radiação e esta absorção produz calor, que amolece a camada. É necessário colocar corretamente do painel sobre a área a reparar para efetuar a reparação sem existência de juntas. Esta técnica permite misturar novos materiais com os existentes (Ray14).

Esta técnica não é utilizada em Portugal, embora se conheçam bastantes casos de aplicação nos Estados Unidos, Inglaterra, Austrália, França, entre outros. Nestes países existem empresas especializadas na execução deste método de conservação, atendendo às vantagens associadas, designadamente: mais rápido, menor necessidade de mão de obra e mais económico (1/3 do custo da reparação tradicional); execução a baixas temperaturas, e até na presença de água, devido ao aquecimento, podendo ser executado quase todos os dias do ano; inexistência de juntas; procedimento ambientalmente mais correto.

#### ▪ Reparação localizada com projecção de mistura betuminosa ou JetPatcher

A projecção de mistura betuminosa é outra técnica de conservação inovadora, não divulgada em Portugal, mas muito utilizada em Inglaterra. Esta técnica consiste na limpeza da área a tratar através de jatos de ar, aplicação do selante e distribuição da mistura betuminosa, composta por 90% de agregados com dimensão de 2 a 10 mm, 5% de areia (com 60% a 65% de betume) e 5% de emulsão betuminosa catiónica de rotura rápida, em jatos a alta velocidade (de 80 a 100 km/h), proporcionando camadas finas que por impacto são compactadas de baixo para cima, em toda a espessura colocada.

---

Pode ser utilizada na reparação de rodeiras, abatimentos, deformações localizadas, bermas danificadas, ninhos ou covas, e tapamento de valas.

A sua execução em condições favoráveis, ou seja, sem a presença de água ou gelo, proporciona um rendimento muito elevado (centenas de reparações localizadas por semana), é uma técnica muito utilizada para reparar estradas de baixo tráfego ou rurais, com ninhos ou covas em elevado número e muito próximos.

De acordo com o fabricante do equipamento JetPatcher, uma reparação tradicional demora cerca de 45 minutos a executar. Com esta técnica o tempo de execução é reduzido para 10 minutos, havendo poupança de tempo, material, mão de obra e uma menor interrupção de tráfego, o que reduz os custos associados até 50%. A via pode entrar em funcionamento 20 minutos depois, se a área de intervenção não ultrapassar os 2m<sup>2</sup>, e desde 1 a 2 horas (em dia quente e ventoso) até 2 a 4 horas (em dia frio).

A reparação é mais duradoura porque a camada é executada da base para o topo, o que proporciona um trabalho mais limpo, pois não há desperdício de material.

#### **4.4.2. Conservação Contínua**

Nas técnicas inovadoras de conservação contínua descrevem-se as camadas betuminosas finas e ultra finas, a camada betuminosa com betume modificado com alta percentagem de granulado de borracha (BMBAP) e o revestimento betuminoso semitemperado.

##### **▪ Camadas betuminosas finas e ultra finas**

Há bastantes anos que as camadas betuminosas finas, ou TAL (Thin Asphalt Layers), são utilizadas, com resultados demonstrados quanto ao seu custo efetivo, rapidez de execução, boas características superficiais (aderência), redução do ruído e durabilidade, quando aplicadas sobre pavimentos com estabilidade e capacidade estrutural, em vias de baixo tráfego e velocidade reduzida.

São misturas betuminosas a quente, aplicadas para renovação das camadas superficiais de pavimentos com estabilidade estrutural, com espessuras entre os 10 e 30 mm (após compactação), compostas por agregados, com dimensão de 4mm a 12mm, betume modificado com polímeros, e adição de fibras ou granulado de borracha, entre outros, com elevada percentagem de vazios preenchidos pelo betume, de acordo com o estabelecido na norma EN 13108-2.

As misturas do tipo SMA (Stone Mastic Asphalt), designadamente as SMA 4, SMA 4+8, SMA 6+8, são misturas de betume modificado por polímeros, fibras de celulose e ligante (em percentagens de 6,5 a 7,1 %), com agregado de dimensões de 4 a 8 mm (entre 70 e 80%), podendo ser consideradas camadas betuminosas finas, uma vez que permitem espessuras finais até 30 mm.

Os pavimentos AC-TL/BBTM – betão betuminoso camadas delgadas e AC-VTL - betão betuminoso camadas muito delgadas, são outros exemplos de camadas betuminosas finas que podem ser utilizadas como técnica de conservação de pavimentos. As camadas betuminosas

---

ultra finas, também são misturas betuminosas a quente, com espessuras de 10 a 20mm (após compactação), a sua composição está descrita na norma EN 13108-9.

A aplicação ou execução deste tipo de camadas betuminosas é em tudo semelhante à das camadas betuminosas tradicionais a quente. No entanto, atendendo à reduzida espessura destas, o equipamento e mão de obra devem ser especializados para assegurar a qualidade necessária na execução das mesmas, o que encarece significativamente o procedimento, não sendo prática corrente a sua utilização no nosso país.

As principais vantagens deste tipo de camadas quando aplicados sobre pavimentos estáveis são: menor quantidade de material e execução mais rápida; boas características superficiais (aderência e profundidade média da textura); boa capacidade de drenagem superficial; resistência ao aparecimento de rodeiras de pequeno raio; redução do ruído.

Tem no entanto algumas desvantagens: a sua aplicação está condicionada a temperaturas do ar relativamente elevadas e à inexistência de vento, para que o arrefecimento da mistura não seja muito rápido e permita a compactação; suscetível ao fendilhamento se as camadas inferiores apresentarem deficiências.

#### ▪ **Camada betuminosa com betume modificado com alta percentagem de granulado de borracha (BMBAP)**

A adição de borracha proveniente da reciclagem de pneus a betumes convencionais, com vista a aumentar a viscosidade do ligante, para posterior utilização no fabrico de misturas betuminosas, tem sido uma técnica bastante utilizada em Portugal para aplicação em camadas de pavimentos novos e de obras de reabilitação de pavimentos flexíveis, podendo ser uma boa opção como técnica de conservação de pavimentos.

A utilização de BMBAP no fabrico de misturas betuminosas tem-se apresentado, nos últimos anos, como uma solução viável e particularmente interessante para a resolução de diversos problemas nos pavimentos, uma vez que contribui, de uma forma geral, para um aumento da resistência à fadiga, diminuição da suscetibilidade à temperatura, diminuição da sensibilidade ao envelhecimento, melhor capacidade drenante e diminuição do ruído, relativamente às misturas betuminosas convencionais.

O betume modificado com alta percentagem de borracha reciclada de pneus pode ser obtido a partir da modificação por via húmida ou por via seca. No primeiro caso, o mais divulgado, a um betume base de penetração nominal 35/50 ou 50/70, adicionando-se-lhe granulado de borracha numa quantidade que pode variar entre 18% e 22% em massa (sobre a massa total do ligante modificado). É produzido aquando do fabrico das misturas betuminosas em obra, pelo que não é estável ao armazenamento. O sistema de fabrico destes ligantes produzidos em obra deve cumprir as especificações particulares estabelecidas pelo produtor para o processo construtivo.

O Despacho n.º 4015/2007, publicado em diário da república, 2ª série, de 2 de março de 2007, determina que os organismos públicos responsáveis pela contratação de empreitadas de manutenção de infraestruturas rodoviárias, como é o caso dos municípios, devem prever, nos

---

cadernos de encargos, a utilização, em pavimentos, de misturas betuminosas com incorporação de betumes modificados com borracha provenientes da reciclagem de pneus em fim de vida.

Existem dois tipos de misturas betuminosas com BMB: a rugosa (MBR-BMB) e a aberta (MBA-BMB). A rugosa incorpora 8 a 9% de BMB em relação ao peso total da mistura e a aberta, 9 a 10 %. A rugosa é constituída por agregados com uma dimensão nominal de 12,5 mm e a aberta com 10,0 mm. Tal como o nome indica a aberta apresenta uma curva granulométrica com uma maior descontinuidade do que a rugosa. Esta última apresenta porosidades da ordem dos 5-6% e a aberta de 10-15%. Em termos estruturais, a mistura rugosa apresenta um módulo de deformabilidade (20°C, 10 Hz) de cerca de 4000 MPa e a aberta de aproximadamente 2000 MPa, com teores volumétricos em betume (Vb) de 17,5 e 19,2% respetivamente.

No processo húmido ou via húmida de fabrico da mistura betuminosa, o granulado de borracha é adicionado ao betume convencional previamente aquecido a temperaturas entre 160°C e 220°C, com um tempo de interação de uma a quatro horas. A mistura de betume e de borracha permanece na cisterna durante um período mínimo de 30 minutos e máximo de 150 minutos e os agregados, com dimensão máxima de 12,5mm, são aquecidos e adicionados à posteriori

O uso preferencial destas misturas faz-se em situações de envelhecimento do pavimento, com fendilhamento considerável, ou para melhorar as características superficiais em termos de atrito e/ou ruído de circulação. A aplicação deste tipo de mistura betuminosa, com temperatura ambiente superior a 10°C, é em tudo semelhante à de camadas betuminosas tradicionais a quente.

As principais vantagens da utilização de BMBAP são as seguintes: elevada resistência à propagação de fendas, à fadiga e deformação permanente; elevada resistência ao envelhecimento, devido à elevada percentagem de ligante; maior durabilidade, logo reduz o custo de manutenção dos pavimentos; aumenta o atrito no contacto pneu/pavimento; melhora a impermeabilidade do pavimento; menor utilização de agregados e de subprodutos.

No entanto, é uma técnica com algumas desvantagens: custos de construção mais elevados, necessidade de produção a elevada temperatura, são muitas vezes difíceis de trabalhar por causa da maior viscosidade do betume, o ligante produzido pode não ser utilizável se a obra for adiada num período superior a 48 horas após a mistura do BMB, exige uma maior complexidade ao nível da central betuminosa devida à introdução de mais um material (borracha) e ao aumento da temperatura de funcionamento da central betuminosa.

#### ▪ **Mistura betuminosa semitemperada**

A mistura betuminosa semitemperada é utilizada na manutenção/conservação de vias com tráfego baixo a moderado. A sua utilização visa a redução do consumo energético e de emissões de gases com efeito estufa, e também a redução de custos de produção, uma vez que a temperatura de fabrico se situa entre 80°C e 100°C, e a temperatura de colocação em obra ronda os 60°C.

Neste tipo de misturas a redução da viscosidade do ligante é conseguida através da utilização de emulsões de betume, as quais contêm água, cujos efeitos são uma maior trabalhabilidade da mistura e menor envelhecimento do ligante, devido às baixas temperaturas utilizadas no

---

processo de fabrico e compactação, o que contribui para reduzir a suscetibilidade ao fendilhamento térmico e estrutural.

A norma NP EN 13108-1 (IPQ, 2006) regula algumas propriedades deste tipo de misturas betuminosas. São constituídas por agregados cuja granulometria contínua ou descontínua fornece maior resistência às solicitações mecânicas do pavimento, podendo conter aditivos (podem ser compostos de misturas de ceras parafínicas sintéticas, resinas de hidrocarbonetos, polímeros termoplásticos, óleo vegetal) que facilitam a regeneração do ligante e a reorganização dos agregados, e inibidores da oxidação químicos. Como ligante pode utilizar-se betume espuma (90-100°C) ou emulsão betuminosa (70-115°C) com a viscosidade modificada, o que faz reduzir a temperatura de aplicação.

As misturas betuminosas semitemperadas são muito semelhantes às misturas tradicionais a quente e podem ser fabricadas na mesma central de produção, só é preciso garantir a existência de equipamentos para dosagem da água, gestão da humidade e controlo do aquecimento do ligante. No entanto estas misturas necessitam de maior compactação devido à água residual, aquando da aplicação em obra.

Um dos mais conhecidos sistemas de fabrico para estas misturas é o usado no chamado "betume de baixa energia" (LEA - *Low Energy Asphalt*), cujo padrão de funcionamento é a formação de espuma no betume.

Quando não se utiliza emulsão ou betume espuma, ou seja, quando não é utilizada água, as misturas são produzidas a cerca de 120°C, designando-se por misturas temperadas. Nestes casos, para a redução da temperatura de fabrico podem utilizar-se produtos químicos concebidos para promover o envolvimento dos agregados, a aderência e a trabalhabilidade (em geral, produtos tensioativos) ou aditivos orgânicos (em geral, ceras parafínicas).

---

---

## CONSERVAÇÃO DE PAVIMENTOS DE BLOCOS

A conservação de pavimentos de blocos é mais simples que a conservação em pavimentos flexíveis, uma vez que não exige mão de obra geralmente disponível e é executada recorrendo a equipamentos mais elementares. Se for efetuada no tempo certo ao longo do tempo, evita a necessidade de reforço ou a reconstrução da estrutura do pavimento.

A bibliografia recomenda algumas ações de conservação para pavimentos de blocos, as quais se ilustram na Ilustração 5. 1 e se descrevem de seguida:

- Limpeza regular da superfície do pavimento, para evitar a acumulação de detritos, que contribuem para o desgaste da superfície dos blocos, permitem a acumulação de água que pode causar dano na estrutura do pavimento, o crescimento de vegetação, entre outros;
- Limpeza da vegetação que cresce nas juntas, manualmente com recurso a ferramentas pontiagudas ou com utilização de herbicida, por aspersão ou por adição ao material a colocar nas juntas; após a limpeza será necessário adicionar material de fecho das juntas (imagem A da Ilustração 5. 1);
- Selagem do pavimento para estabilização do material existente nas juntas e proteção da superfície do bloco (imagem B da Ilustração 5. 1);
- Adição de material de fecho das juntas para manter o travamento dos blocos, com espalhamento e vibração da superfície com recurso a placa vibratória, para que haja penetração efetiva do material;
- Substituição dos blocos com defeito, ou a simples troca de face do bloco voltada para cima atendendo ao desgaste do mesmo (imagem C da Ilustração 5. 1);
- Recolocação dos blocos deslocados e restauro da camada inferior do pavimento caso existam pequenas deformações;
- Reposição das camadas do pavimento em áreas com grandes deformações nas quais pode ser necessário proceder à revisão do dimensionamento do mesmo (imagem D da Ilustração 5. 1).

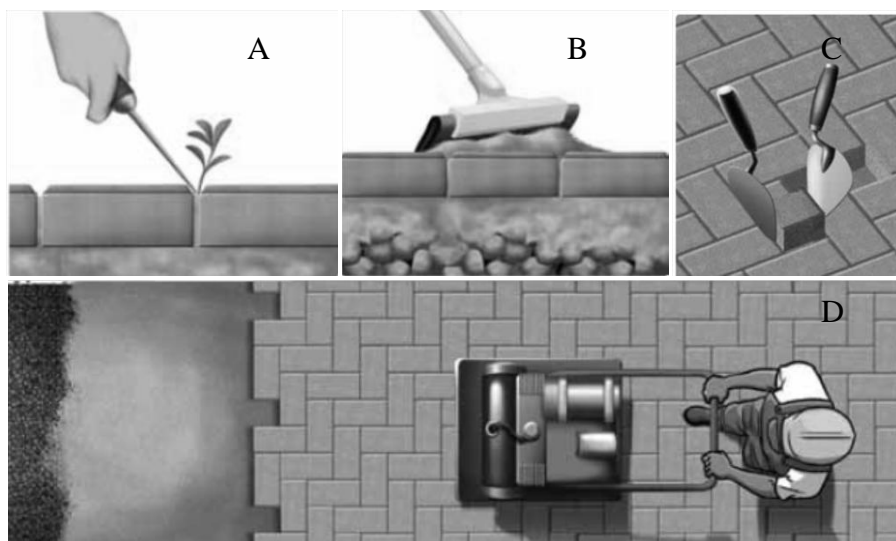


Ilustração 5. 1 - Operações de conservação de pavimento de blocos



Alguns guias de conservação/manutenção relacionam, de uma forma expedita, a patologia do pavimento e o tipo de ação de manutenção/conservação a efetuar. Nas Tabela 5. 1 e Tabela 5. 2 apresenta-se uma compilação dessas ações.

Tabela 5. 1 - Ações de conservação ou manutenção consoante a patologia existente no pavimento de blocos

| PATOLOGIA  | CAUSA PROVÁVEL   | EXTENSÃO   | AÇÕES DE MANUTENÇÃO/CONSERVAÇÃO   |
|--|--|--|---|
| <b>Rodeiras</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mau dimensionamento ou execução das camadas de base, sub-base e/ou fundação</li> <li>- Materiais aplicados de fraca qualidade</li> <li>- Compactação insuficiente</li> </ul>  | Ao longo do pavimento  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Se a qualidade da viagem for afetada, levantar os blocos, retirar a almofada de areia, verificar as condições das camadas estruturais, substituir ou acrescentar material e compactar, executar nova almofada de areia, aplicar os blocos e compactar</li> </ul>   |
| <b>Depressões</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Má drenagem, fraca qualidade dos materiais</li> <li>- Má execução do leito do pavimento</li> <li>- Subdimensionamento do pavimento, ações de corte sob o pavimento</li> <li>- Existência de peças com espessura variável</li> </ul>   | Poucos blocos ou área extensa<br>Onde existem infraestruturas subterrâneas | Levantar os blocos, retirar a almofada de areia, verificar as condições das camadas inferiores, substituir ou acrescentar material e compactar, executar a almofada de areia, aplicar os blocos e compactar   |
| <b>Escalonamento de blocos ou “faulting”</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mau dimensionamento ou má execução da almofada de areia, bombagem dos finos, conduzindo a espessuras variáveis desta camada</li> <li>- Inadequada, granulometria dos agregados do material de fecho das juntas e escolha do formato do bloco</li> </ul>                                 | Blocos individuais ou grupos de blocos                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Saliência <math>\leq 5\text{mm}</math>, ignorar mas continuar a monitorizar a superfície</li> <li>- Saliência <math>&gt; 5\text{mm}</math>, substituir blocos salientes se o problema for a espessura dos blocos ou ajustar a dimensão da camada de base para que após compactação, os blocos fiquem nivelados</li> </ul>  |
| <b>Empolamento dos blocos ou “heaves”</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ciclo de gelo-degelo da água existente nas camadas inferiores do pavimento</li> <li>- Instabilidade das camadas estruturais, mau dimensionamento</li> <li>- Existência de depressões e rodeiras nas proximidades</li> </ul>   | Áreas localizadas ou a generalidade do pavimento                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diferenças de nível <math>\leq 10\text{mm}</math>, levantar blocos apenas do ponto de vista estético, regularizar a almofada de reia e recolocar os blocos</li> <li>- Diferenças de nível <math>&gt; 10\text{mm}</math>, levantar blocos, regularizar a almofada de reia e recolocar os blocos</li> </ul>  |
| <b>Arrastamento horizontal ou “shoving”</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consequência das forças horizontais, provocadas pelo tráfego (em zonas de viragem, travagens, entre outros)</li> <li>- Inadequada, granulometria dos agregados do material de fecho das juntas e escolha do formato do bloco</li> <li>- Inexistência de confinamento lateral</li> </ul> | Poucos blocos ou área extensa  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deslocamento <math>\leq 10\text{mm}</math>, levantar blocos do ponto de vista estético, regularizar a almofada de reia e recolocar os blocos</li> <li>- Deslocamento <math>&gt; 10\text{mm}</math>, levantar blocos, regularizar a almofada de reia e recolocar os blocos, com novo formato se necessário, para permitir o travamento dos mesmos</li> </ul>      |
| <b>Confinamento lateral<br/>Largura excessiva das juntas</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inadequado ou inexistente confinamento lateral e tráfego intenso, que provocam o alargamento das juntas</li> <li>- Falta de material nas juntas</li> <li>- Má execução em obra</li> </ul>   | Poucos blocos ou área extensa  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alargamento <math>\leq 10\text{mm}</math>, levantar blocos apenas do ponto de vista estético, regularizar a almofada de reia e recolocar os blocos</li> <li>- Alargamento <math>&gt; 10\text{mm}</math>, levantar blocos, regularizar a almofada de reia e recolocar os blocos, com novo formato se necessário, para permitir o travamento dos mesmos</li> </ul> |

Tabela 5. 2 – Continuação das ações de conservação ou manutenção consoante a patologia existente no pavimento de blocos

| PATOLOGIA                             |                                       | CAUSA PROVÁVEL  | EXTENSÃO                               | AÇÕES DE MANUTENÇÃO/CONSERVAÇÃO  |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|--|
| Bloco danificado                      | <b>Blocos fendilhados</b>             | - Má construção das camadas de base   | Poucos blocos e isolados               | Substituir apenas do ponto de vista estético   |
|                                       | <b>Blocos partidos</b>                | - Má construção do pavimento e má qualidade dos blocos  | Blocos individuais ou grupos de blocos | Substituição dos blocos  |
|                                       | <b>Blocos lascados</b>                | - Espessura diminuta das juntas   | Blocos individuais<br>Grupos de blocos | - Substituir blocos do ponto de vista estético<br>- Se as juntas tiverem dimensão < 2mm, recolocação dos blocos com juntas de 2 até 5 mm<br>- Se as juntas tiverem dimensão < 2mm, recolocação dos blocos com juntas de 2 até 5 mm                                 |
|                                       | <b>Blocos com desgaste ou abrasão</b> | - Má execução/qualidade do bloco  | Blocos individuais ou grupos de blocos | - Substituir do ponto de vista estético<br>- Recolocação dos blocos ou troca da face com dano  |
| <b>“Bombagem” ou subida dos finos</b> |                                       | - Má execução da almofada de areia (granulometria incorreta)<br>- Erosão pela água<br>- Bombagem dos finos<br>- Perda do material das juntas<br>- Más condições de drenagem | Poucos blocos ou área extensa          | - Profundidade ≤ 10mm, ignorar mas continuar a monitorizar a superfície<br>- Profundidade > 10mm, preencher as juntas com novo material e vibrar/compactar a superfície<br>- Verificar as condições de drenagem<br>- Se necessário proceder à selagem do pavimento |
| <b>Vegetação nas juntas</b>           |                                       | - Sementes que assentam nas juntas  |  | Extração da vegetação manualmente com recurso a ferramentas pontiagudas ou utilização de herbicida em tempo seco (sem chuva durante 48 horas)  |

Os procedimentos inerentes à reparação de patologias em pavimentos de blocos, descrevem-se de seguida e ilustram-se na Ilustração 5. 2:

- 1º. Colocação de sinalização de segurança no troço onde se realizam os trabalhos;
- 2º. Delimitação da área de intervenção, com largura acrescida de 80cm à largura da zona afetada ou para abertura de vala;
- 3º. Remoção dos blocos; a remoção do primeiro bloco pode implicar a extração do material existente nas juntas, colocação dos blocos em montes ao longo da vala, com um afastamento mínimo de 60 cm em relação à zona de trabalho, para facilitar o processo de reposição do pavimento e colocação de proteção em redor dos blocos remanescentes, para que não exista movimento dos mesmos;
- 4º. Remoção da almofada de areia, da camada de base e camada de sub-base, se necessário;
- 5º. No caso de abertura e tapamento de valas, procede-se à escavação do solo, regularização do fundo da vala, execução de almofada de areia, colocação da tubagem e envolvimento desta, preenchimento da vala, conforme os procedimentos já descritos para a abertura e tapamento de valas para pavimentos flexíveis;

- 6°. Se necessário, reposição das camadas estruturais com as mesmas características do pavimento existente e compactação;
- 7°. Execução de almofada de areia, aplicação dos blocos e ajuste do espaçamento das juntas;
- 8°. Compactação do pavimento, manual ou mecanicamente;
- 9°. Colocação e espalhamento de material de fecho das juntas.



Ilustração 5. 2 - Procedimentos de reposição das camadas do pavimento de blocos

Um pavimento de blocos corretamente dimensionado e executado requer menos ações de conservação que o pavimento flexível e, quando estas existem, são também mais simples e económicas, facilmente executadas por trabalhadores de um município, uma vez que são utilizados equipamentos mais comuns (maço, vassoura, espalhador, entre outros) e mão de obra especializada e experiente (calceteiros)

## GESTÃO DA CONSERVAÇÃO

### 6.1. Avaliação de Estratégias

Após determinado o IQ do pavimento é necessário definir estratégias para decidir qual o prazo de intervenção, por forma a reduzir custos e manter a qualidade do pavimento. A avaliação de estratégias consiste em utilizar modelos de comportamento do pavimento, que contribuem para prever o estado dos pavimentos durante o ciclo de vida, definir custos diretos e indiretos da conservação na ótica do custo-benefício num processo de otimização e melhoramento do estado do pavimento, avaliar os diferentes objetivos da qualidade e as restrições existentes para aplicação dos recursos num período considerado, o que vai permitir determinar as consequências da aplicação de uma determinada estratégia de conservação e ajudar num processo de decisão.

#### 6.1.1. Modelo Determinístico da American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

Em Portugal tem sido utilizado um modelo de otimização, baseado no **Modelo Determinístico da American Association of State Highway and Transportation Officials** (AASHTO) (AASHTO, 1993) para a previsão do comportamento dos pavimentos, traduzido pela fórmula (6.1).

$$\log_{10}(N_{80t}^{Dim}) = Z_R \times S_0 + 9,36 \times \log_{10}(SN_t + 1) - 0,20 + \frac{[\log_{10} \frac{\Delta IQ_t}{4,2-1,5}]}{0,4 + \frac{1094}{(SN_t+1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_{Rt}) - 8,07 \quad (6.1)$$

Em que:

$N_{80t}^{Dim}$  - é o número acumulado de eixos padrão de 80 kN no ano t e na via mais solicitada, desde a construção ou da última reabilitação;

$Z_R$  - é o desvio padrão da regressão;

$S_0$  - é o erro padrão combinado relativo à previsão do tráfego e desempenho dos pavimentos;

$SN_t$  - é o número estrutural do pavimento no ano t;

$\Delta IQ_t$  - é a diferença entre o valor do IQ no ano da construção ou da última reabilitação e o IQ no ano t;

$M_R$  - é o módulo de deformabilidade do solo de fundação

Este modelo é determinístico, pois o conjunto de dados de entrada é conhecido (ou estimado) e deste resulta apenas uma saída. Como dados de entrada, no primeiro membro, o número de repetições de carga que solicita o pavimento durante a sua vida, ou apenas num período de tempo, não é mais que uma previsão da evolução do tráfego e, no segundo membro, as características estruturais do pavimento, através do número estrutural que é função da espessura, do coeficiente estrutural, do coeficiente de drenagem, e do módulo de deformabilidade do solo de fundação. A saída obtida é a variação do IQ em função do aumento de tráfego previsto para um determinado período de tempo t.

Com estes dados podem ser definidas algumas estratégias de intervenção para a conservação e a consequente variação do número estrutural. Uma estratégia consiste em, por exemplo, efetuar

---

uma ação de conservação quando o IQ atinge o nível mínimo de qualidade (NMQ), normalmente NMQ=2. Uma estratégia diferente corresponde a atuar apenas quando o IQ atinge valores inferiores ao mínimo definido como aceitável. No entanto, qualquer estratégia definida acarreta custos, custos da administração (custo de construção, conservação, reabilitação e o valor residual) e custos para os utilizadores (custo de operação dos veículos, custo do tempo de viagem e custo de acidentes). Uma intervenção tardia no pavimento implica aumento de custos, tanto para a administração, como para o utilizador, mas se a entidade gestora efetuar, uma ou mais intervenções no tempo certo, esses custos serão reduzidos.

A avaliação de estratégias é efetuada com recurso a análises determinísticas ou probabilísticas, as quais podem ser otimizadas, com base no IQ, tempo de atuação, custo-benefício (interesses da entidade gestora e utilizadores) do ciclo de vida de um pavimento, restrições existentes (por exemplo, orçamentais), entre outros.

Esta metodologia aplicada a um sistema de avaliação de estratégias permite fazer propostas de intervenção de modo a manter a qualidade da rede acima de um determinado nível de qualidade, investindo o mínimo em conservação, de modo a atingir os objetivos procurados ao longo dos anos do período de planeamento.

A sua implementação de uma metodologia como a que se descreveu exige conhecimentos específicos e muitas horas de implementação, além do recurso intensivo a aplicações informáticas dedicadas. Compreende-se que para entidades gestoras de âmbito nacional seja utilizada esta metodologia, embora para pequenas redes de gestão municipal, atendendo ao conhecimento generalista dos técnicos, pode ser utilizada uma metodologia de implementação mais simples.

### **6.1.2. Método Probabilístico Baseado nas Cadeias de Markov**

De modo a mostrar processos mais simplificados de atuação, descreve-se um método utilizado para prever o estado de deterioração do pavimento em áreas urbanas, conhecido o estado de conservação atual, conhecido por **Método Probabilístico baseado nas Cadeias de Markov**, tal como aplicado por (Hassan et al, 2014). Assenta na propriedade markoviana de que o estado futuro de um pavimento depende do seu estado atual, mas não depende do estado passado. É um processo estocástico discreto em relação ao tempo (sem memória, pois o passado não é considerado), com intervalos de estado finitos.

Este modelo consiste no desenvolvimento de vetores de partida que caracterizam o estado atual do pavimento, e matrizes de probabilidade de transição que estabelecem a probabilidade de evolução futura de um dados estado de conservação para outro pior. O sistema pode ser estacionário (taxa de deterioração constante), existindo apenas uma matriz de probabilidade de transição que traduz uma evolução constante do estado ao longo do tempo, ou pode ser um sistema variável com diversas matrizes de probabilidade, para diferentes intervalos de tempo. As matrizes de probabilidade de transição representam a proporção da via que está num determinado estado e a fração que vai transitar para outro estado de conservação imediatamente a seguir.

Neste método pode considerar-se, por exemplo, o estado do pavimento classificado em cinco níveis: excelente (EX), bom (B), razoável (RA), mau (M) e muito mau (MM). Um vetor inicial

que represente as condições iniciais do pavimento imediatamente após a construção, ou à data da avaliação, do tipo  $X_0 = [1, 0, 0, 0, 0] = [EX, B, RA, M, MM]$ , representa um estado de conservação excelente. Seguidamente define-se o vetor de estado, que indica a fração da via em cada estado de conservação, obtido pelo somatório dos comprimentos da via em determinado estado, dividido pelo comprimento total desta, ou seja,  $X_{(2014)} = [0,45, 0,14, 0,18, 0,13, 0,09] = [EX, B, RA, M, MM]$  ou  $X_{(2014)} = [0,45, 0,14, 0,18, 0,13, 0,09] = [1, 2, 3, 4, 5]$  para corresponder à Ilustração 6. 1

Outro conceito importante é a definição do estágio, ou ciclo de serviço, normalmente um ano, correspondente a um ano de tráfego e consequente degradação da vida útil do pavimento. Pode, em vez disso, considerar-se um ciclo de dois anos.

Por fim, define-se a matriz probabilística de transição (MPT) de um estado para o outro, a peça mais importante deste modelo e também a menos precisa. Nesta matriz são definidas as probabilidades de transição,  $P_{ij}$ , que indicam a probabilidade da seção da via no estado de conservação  $i$  evoluir para o estado  $j$ , no ciclo definido, e as probabilidades de transição  $P_{ii}$ , que representam a probabilidade da seção da via no estado  $i$  se manter nesse estado, conforme se ilustra na Ilustração 6. 1.

|           |   | PARA (j) |     |     |     |                      |
|-----------|---|----------|-----|-----|-----|----------------------|
|           |   | 1        | 2   | 3   | 4   | 5                    |
| DE<br>(i) | 1 | P11      | P12 | 0   | 0   | 0                    |
|           | 2 | 0        | P22 | P23 | 0   | 0                    |
|           | 3 | 0        | 0   | P33 | P34 | 0                    |
|           | 4 | 0        | 0   | 0   | P44 | P45                  |
|           | 5 | 0        | 0   | 0   | 0   | <b>P55 = Pnn = 1</b> |

Ilustração 6. 1 - Matriz probabilística de transição

A definição desta matriz tem em conta algumas condições:

- Não existem entradas negativas;
- Na matriz só pode existir alteração de um nível no estado de conservação;
- A soma das entradas em cada linha é igual a um, em que  $P_{ij} = 1 - P_{ii}$  ou  $P_{ii} = 1 - P_{ij}$ ;
- $P_{ij} = 0$  para  $i > j$ , o que significa que o estado de conservação não melhora se não existir ação de conservação;
- $P_{nn} = 1$ , é um estado de absorção, o qual significa que o pavimento atingiu o pior estado de conservação e não pode transitar para outro estado; normalmente implica a reconstrução do pavimento.

O processo de deterioração é modelado pela multiplicação do vetor inicial, pela matriz de transição. O vetor de estado do estágio  $u$  deriva da multiplicação do vetor inicial pela matriz de transição, ou seja,  $X(1) = X(0) \times \text{MPT}$ . A probabilidade de deterioração para  $t=2$  é obtida através de  $X(2) = X(1) \times \text{MPT} = X(0) \times \text{MPT}^2$ , ou seja,  $X(t) = X(t-1) \times \text{MPT}^t$ .

O resultado da modelação é a percentagem de via nos diferentes estados de conservação ao longo do período de planeamento, em qualquer ano futuro, conforme se ilustra no gráfico da Ilustração 6. 2..

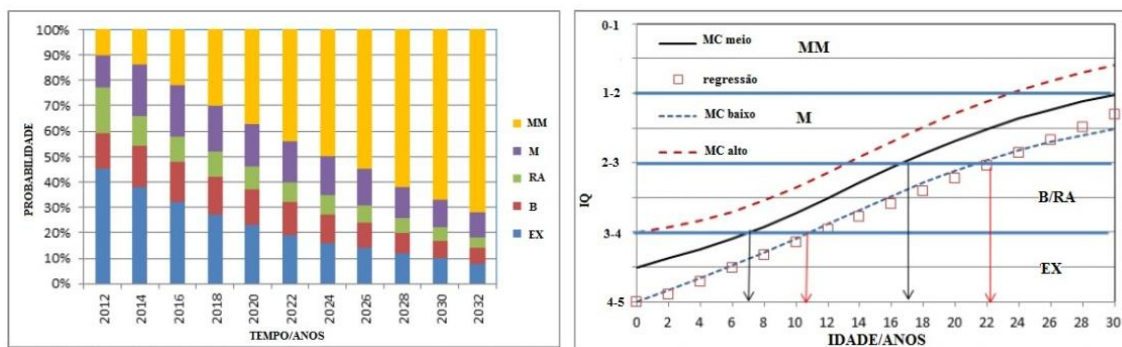


Ilustração 6. 2 - Gráfico com a percentagem de degradações (esquerda) e curva de degradação (direita), de uma via, em cada

Tal como se ilustra na Figura 3.24 (direita), a previsão da evolução do IQ pode ser obtida em termos de valores médios de cada estado de conservação, ou considerando os limites mínimos ou máximos dos intervalos para cada classe de estado de conservação: EX, B, RA, M, MM.

### 6.1.3. Metodologia Simplificada do Asphalt Institute

O **Asphalt Institute** propõe uma metodologia simplificada de avaliação de estratégias que classifica o estado superficial de um pavimento de acordo com o PCI - *Pavement Condition Index* - ou índice global de qualidade do pavimento, propondo prazos de intervenção consoante o tipo de via em análise e o seu estado de conservação. A determinação do PCI é efetuada através de um método subjetivo de avaliação baseado na observação visual das degradações (Milestones, 2009). Na Tabela 6. 1 apresenta-se uma correspondência aproximada entre o IQ e o PCI, a descrição do estado do pavimento e do conforto da viagem.

Tabela 6. 1 - Intervalos do PCI e do IQ

| IQ  | PCI    | ESTADO DO PAVIMENTO   |
|-----|--------|---|
| 4-5 | 80-100 | Excelente/Muito plano   |
| 3-4 | 60-80  | Bom/ Plano com algumas saliências e depressões                    |
| 2-3 | 40-60  | Razoável / Confortável com saliências e depressões intermitentes  |
| 1-2 | 20-40  | Mau   Desconfortável com saliências e depressões frequentes       |
| 0-1 | 0-20   | Muito Mau  /Desconfortável com saliências e depressões constantes |

A aplicação de uma estratégia de conservação de pavimentos, ainda que simplificada, deve ter em consideração a classificação hierárquica das vias da rede, porquanto a prioridade das intervenções também deve considerar esse aspeto. Na Tabela 6. 2 descrevem-se algumas das características das vias de gestão municipal e apresenta-se uma classificação hierárquica das mesmas considerando quatro níveis, como é habitual fazer-se para vias municipais.

Tabela 6. 2 - Características das vias de gestão municipal

| DESIGNAÇÃO                                 | DESCRIÇÃO   | CARACTERÍSTICAS   |
|--|---|---|
| Distribuidora Principal<br>(Via Arterial)  | Vias de comunicação de interesse nacional e regional, asseguram a ligação entre centros urbanos de influência supra distrital (Itinerário Principal – IP) e concelhia, supraconcelhia e infra distrital (Itinerário Complementar –IC e Estrada Nacional - EN) | Ambiente urbano e rural<br>Tráfego elevado, moderado<br>Estacionamento desaconselhado<br>Velocidade (v) $\geq$ 50km/h   |
| Distribuidora Secundária<br>(Via Coletora) | Vias de comunicação com interesse supramunicipal (EN), complementares à rede rodoviária nacional (Estrada Regional – ER) e que estabelecem a ligação às sedes de freguesia e outros espaços públicos de grande importância (Estrada Municipal – EM)           | Ambiente urbano (v=50km/h) e rural (v=90km/h)<br>Tráfego elevado, moderado<br>Existência de acessos e estacionamento<br>Rede contínua com existência de passadeiras                       |
| Acesso local<br>(Via Local)                | Vias de comunicação que complementam a rede de estradas municipais, permitem a ligação entre sedes de freguesia e restantes localidades do concelho (Caminhos Municipais - EM)  | Velocidade $\leq$ 50km/h<br>Tráfego moderado, reduzido<br>Existência de acessos e estacionamento<br>Rede descontínua e partilha de via por veículos e peões (inexistência de passadeiras) |

Conhecido o PCI e o tipo de via, recorre-se à matriz de decisão, apresentada na Tabela 6. que, de acordo com a qualidade do pavimento flexível ou de blocos prefabricados de betão, estabelece um prazo indicativo para intervir no mesmo, com ações de conservação, reabilitação ou reconstrução.

Tabela 6. 3 – Matriz de decisão

| Matriz de decisão |                              |                              |                              |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Intervenção       | Via Arterial                 | Via Coletora                 | Via Local                    |
| Não necessita     | PCI >85                      | PCI >80                      | PCI >80                      |
| 6 a 10 anos       | $76 \leq \text{PCI} \leq 85$ | $71 \leq \text{PCI} \leq 80$ | $66 \leq \text{PCI} \leq 80$ |
| 1 a 5 anos        | $56 \leq \text{PCI} \leq 75$ | $51 \leq \text{PCI} \leq 70$ | $46 \leq \text{PCI} \leq 65$ |
| Reabilitação      | $50 \leq \text{PCI} \leq 55$ | $45 \leq \text{PCI} \leq 50$ | $40 \leq \text{PCI} \leq 45$ |
| Reconstrução      | PCI <50                      | PCI <45                      | PCI <40                      |

Consoante o estado de degradação do pavimento, é necessário estabelecer estratégias de conservação, periódicas ou correntes, através da definição ou combinação de técnicas de conservação a utilizar.

A conservação periódica pode ser preventiva ou baseada na realização periódica de camadas de reforço de pavimento e visa manter a qualidade global do pavimento, através da realização de intervenções que atenuam o efeito da progressão das degradações, quando estas se encontram na sua fase inicial de evolução. É esperado que após as intervenções de conservação previstas, o pavimento exiba um determinado nível de qualidade. Na Ilustração 6. 3 ilustram-se três estratégias de conservação de pavimentos rodoviários, mostrando-se a evolução do IQ ao longo da vida útil do pavimento.



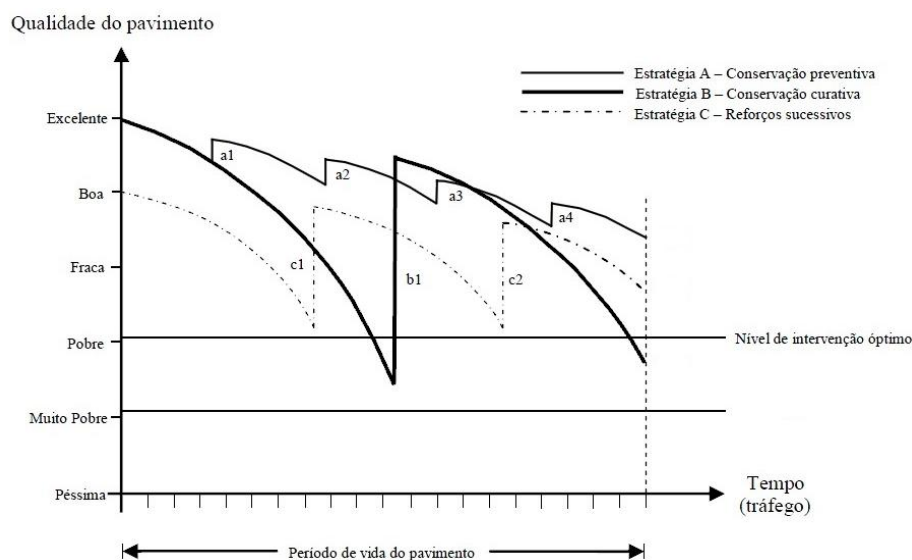


Ilustração 6. 3 - Estratégias de conservação de pavimentos rodoviários

## 6.2. Sistema de Informação Geográfica - SIG

Um SIG - Sistema de Informação Geográfica como ferramenta de suporte ao armazenamento e manipulação de informação passível de ser geograficamente referenciada. O SIG contém duas componentes fundamentais, a componente gráfica ou cartográfica, em formato raster ou vetorial, e a componente alfanumérica dos dados (tabelas e metadados), que se relacionam através de identificadores comuns ou códigos.

Um SIG aplicado à gestão da conservação da rede viária municipal permite a modelação da rede com informação alfanumérica associada, facilita a pesquisa e identificação das características de uma determinada secção da via, e permite ainda efetuar análises espaciais com critérios preestabelecidos.

A implementação de um SIG inicia-se com a execução do inventário da rede rodoviária municipal, onde os dados recolhidos são importados para o software a utilizar e associados à localização geográfica das mesmas.

A informação a utilizar deve ser a que consta do inventário da rede municipal (tipo de via, comprimento, largura, tipo de pavimento, entre outros). Após a avaliação da qualidade da via em questão, os dados resultantes são introduzidos no SIG e a visualização do conjunto de dados pode ser algo semelhante ao ilustrado na Ilustração 6. 4.

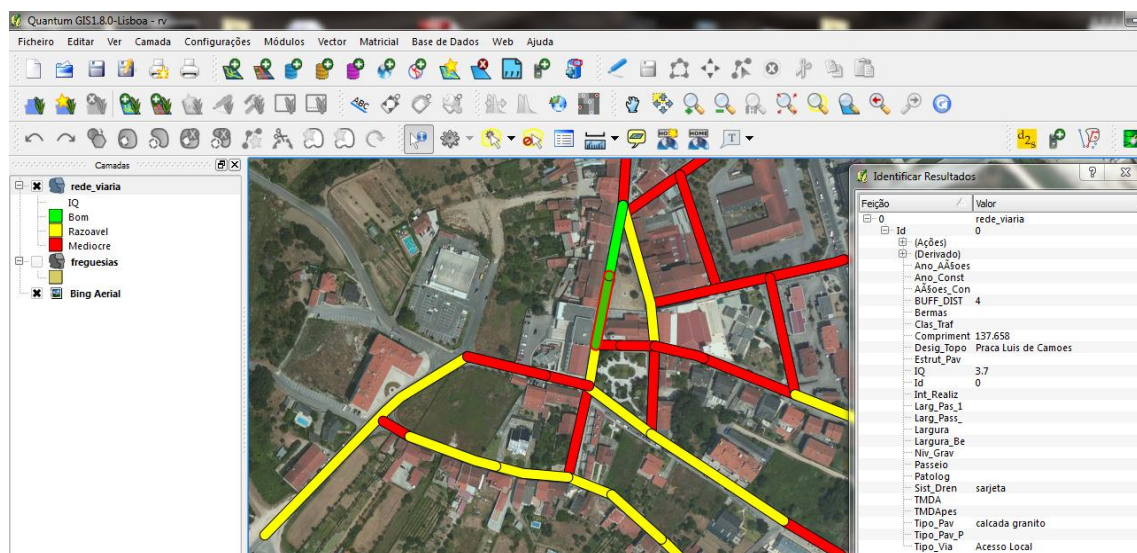


Ilustração 6. 4 - Visualização de um SIG de uma rede rodoviária em software open source Quantum GIS

Através da conjugação destes elementos é possível visualizar os dados das mais diversas formas, por exemplo, em função do tipo de pavimento, do tipo de via, ou do IQ, definir qual a área alvo de intervenção segundo a localização (freguesia, proximidade ao centro urbano, entre outros), elaboração de mapas, relatórios e gráficos. É também possível proceder à análise de estratégias em função do IQ, custos, entre outros.

---

---

## CASOS PRÁTICOS

Para melhor concretização das metodologias apresentadas neste manual, utiliza-se um exemplo prático aplicado a uma via com pavimento flexível e a outra com pavimento de blocos.

Apresentam-se os passos necessários a uma gestão da conservação de pequenas redes rodoviárias municipais, incluindo o inventário da rede, o levantamento visual das degradações, a avaliação da qualidade dos pavimentos, a avaliação de estratégias de atuação e a implementação de um SIG.

O primeiro caso prático corresponde ao levantamento e avaliação de pavimentos localizados em Vila Nova de Poiares. Trata-se de um município com poucos recursos técnicos disponíveis, onde grande parte da informação é desconhecida, designadamente a estrutura e características dos pavimentos. Neste caso adotou-se o método mais simples de previsão do comportamento do estado dos pavimentos, de forma a estabelecer os prazos adequados para intervir nos mesmos.

O segundo caso prático corresponde ao levantamento e avaliação de pavimentos de vias da cidade de Coimbra, no qual se reúne o conjunto de elementos para a caracterização do estado atual dos pavimentos e a utilização das metodologias apresentadas neste manual.

### 7.1 Pavimentos de Vila Nova de Poiares

#### 7.1.1 Inventário e Levantamento das Características Superficiais

Para o caso prático escolheram-se duas vias do Município de Vila Nova de Poiares, a Avenida dos Bombeiros Voluntários, com pavimento flexível, e a Rua Heróis de Quimbele, com pavimento de blocos prefabricados de betão, localizadas no centro de Vila Nova de Poiares, que se ilustram na Ilustração 7. 1.



Ilustração 7. 1- Avenida dos Bombeiros Voluntários (esquerda) e Rua Heróis de Quimbele (direita)

O inventário da rede viária começa com a identificação das vias, a sua classificação hierárquica, localização (georreferenciação), comprimento, largura, número de vias em cada sentido, o volume diário de tráfego, a caracterização da área envolvente, entre outros.

O histórico destas vias, designadamente o ano de construção, a estrutura do pavimento, o registo de ações de conservação ou o tipo de intervenções realizadas, são desconhecidos. Isto acontece porque foram obras executadas por administração direta, à exceção da pavimentação com material betuminoso, e não existem registos das obras rodoviárias.

O detalhe e quantidade de informação recolhida num inventário são estabelecidos por cada administração rodoviária. Na Tabela 7. 1 apresenta-se a informação recolhida acerca das vias referidas e resultante do levantamento das características superficiais.

A informação levantada foi posteriormente introduzida em ficheiros do Microsoft Excel preformatados, de forma a permitir determinar o IQ dos pavimentos em análise.

No levantamento das degradações da Av. dos Bombeiros Voluntários verificou-se a presença de fendilhamento do tipo pele de crocodilo associado a assentamento do pavimento, na zona de localização de infraestruturas subterrâneas, em cerca de 40 metros. Existem outras patologias no pavimento, as quais se apresentam na Ilustração 7. 2: reparações nas zonas de valas mal executadas, degradações superficiais, deformações localizadas e covas ou ninhos. Os últimos 47 metros não possuem patologias pois, recentemente, foram alvo de pavimentação com material betuminoso cujas características e espessura se desconhecem.

Tabela 7. 1 - Dados resultantes do levantamento das características das vias

| Designação/Topónimo                 | Rua Heróis de Quimbele   | Avenida dos Bombeiros Voluntários  |
|-------------------------------------|--|--|
| <b>Tipo de via</b>                  | Acesso local   | Acesso local   |
| <b>Sentido de tráfego</b>           | Único  | Duplo  |
| <b>Número de vias (por sentido)</b> | 1  | 1  |
| <b>Largura</b>                      | 2,8 m  | 8,5 m  |
| <b>Comprimento</b>                  | 64 m   | 155 m  |
| <b>Passeio</b>                      | esq (0,60 m) e dir (escadaria)   | esq (1 m) e dir (1 m)  |
| <b>Berma</b>                        |  |  |
| <b>Sistema de drenagem</b>          | Sarjetas   | Sarjetas   |
| <b>Ano-construção</b>               | 2002   | Desconhecido   |
| <b>Tipo de pavimento</b>            | Blocos pré-fabricados de betão   | Flexível   |
| <b>Estrutura do pavimento</b>       | Desconhecido   | Desconhecido   |
| <b>TMDA</b>                         | Desconhecido   | Desconhecido   |
| <b>TMDA-pes</b>                     | Interdição pesados   | Desconhecido   |
| <b>Classe de tráfego</b>            | Desconhecido   | Desconhecido   |
| <b>Patologias</b>                   | Blocos danificados (desgaste, esmagamento e fratura), largura excessiva das juntas, empolamento de blocos, rodeiras, arrastamento horizontal de blocos | Fendilhamento, assentamento, degradações superficiais, covas ou ninhos e reparações mal executadas |
| <b>Intervenções realizadas</b>      | Inexistente  | Pavimentação recente com material betuminoso numa extensão de 47 m                                 |
| <b>Ano-intervenção</b>              |  | Desconhecido   |
| <b>Ações de conservação</b>         | Inexistente  | Inexistente  |
| <b>Ano-conservação</b>              |  |  |

Ilustração 7. 3 - Ficha de levantamento visual de degradações do pavimento flexível

A rua Heróis de Quimbele apresenta em toda a extensão desgaste da superfície dos blocos e rodeiras na zona dos rodados dos veículos. Existem ainda outras patologias, presença de vegetação nas juntas, blocos danificados (fendilhados, partidos e esmagados), arrastamento



Ilustração 7.3 - Ficha de levantamento visual de degradações do pavimento flexível

A rua Heróis de Quimbele apresenta em toda a extensão desgaste da superfície dos blocos e rodeiras na zona dos rodados dos veículos. Existem ainda outras patologias, presença de vegetação nas juntas, blocos danificados (fendilhados, partidos e esmagados), arrastamento



horizontal, empolamento dos blocos, depressão e largura excessiva das juntas, conforme se ilustra na Ilustração 7. 4.



Ilustração 7. 4 - Fotografias resultantes do levantamento da Rua Heróis de Quimbele

Na Ilustração 7 5 apresenta-se a ficha com os dados resultantes do levantamento visual das degradações, a gravidade das mesmas foi estabelecida com base na Tabela 3. 6.

| FICHA DE LEVANTAMENTO DE DEGRADAÇÕES  |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|---|------------------------|-----------|-----|-----|----------|--------------|------|--------------------|---|--------|--------|---|---|--|-----|-----|-------|--|--|--------|--|--|---------|-------------|-----------|
| PAVIMENTOS DE BLOCOS  |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| VIA:  | Rua Heróis de Quimbele |           |     |     | TIPO:    | acesso local |      |                    |   | FOLHA: | 1 de 1 |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| SECÇÃO:   |                        |           |     |     | SENTIDO: | único        |      |                    |   | DATA:  | Mar-15 |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| INÍCIO (m):   | 0                      |           | X:  |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| FIM (m):  | 64                     |           | Y:  |     |          |              |      | LARGURA MÉDIA (m): |   | 2,8    |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| PATOLOGIAS  | Si                     | 20        |     | 20  |          | 20           |      | 4                  |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | G                      | C         | L   | C   | L        | C            | L    | C                  | L | C      | L      | C | L |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Bloco danificado  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      | 0,2       | 0,2 |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     | 0,6 | 0,6      |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Depressões  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      |           |     |     |          | 0,3          | 0,40 |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Confinamento lateral  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Largura excessiva da junta  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      | 1         | 1   |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Escalonamento dos blocos  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Empolamento dos blocos  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      | 0,4       | 0,4 |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Arrastamento horizontal dos blocos  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      | 1,3       | 1,2 |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| "Bombagem" ou subida dos finos  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      |           |     |     |          |              |      | 1,50               | 1 |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Falta de blocos   | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Reparações  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Rodeiras  | L                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | M                      | 20        | 1   | 20  | 1        | 20           | 1,00 | 4,00               | 1 |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
|   | H                      |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| ESBOÇO:   |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> COMENTÁRIOS:<br/> desgaste superficial da totalidade dos blocos<br/> sarjetas transversais com dano </div> <div> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Esq</th> <th>Dir</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Berma</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Valeta</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Passeio</td> <td>Sim (0,6 m)</td> <td>arcadaria</td> </tr> </tbody> </table> <p>P-Pavimentado INP- Não pavimentado INR- Não reutilizado MC- Meio canal Arg- Argamassa L S- Sumidouro</p> </div> </div> |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  | Esq | Dir | Berma |  |  | Valeta |  |  | Passeio | Sim (0,6 m) | arcadaria |
|   | Esq                    | Dir       |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Berma   |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Valeta  |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| Passeio   | Sim (0,6 m)            | arcadaria |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |
| TÉCNICO:  |                        |           |     |     |          |              |      |                    |   |        |        |   |   |  |     |     |       |  |  |        |  |  |         |             |           |

Ilustração 7 5 - Ficha do levantamento visual de degradações do pavimento de blocos

Com a informação recolhida já é possível criar um projeto SIG, conforme se ilustra na Ilustração 7. 6, na qual é visível a base de dados e a localização geográfica das vias. Posteriormente serão inseridos dados relativos à avaliação da qualidade dos pavimentos.

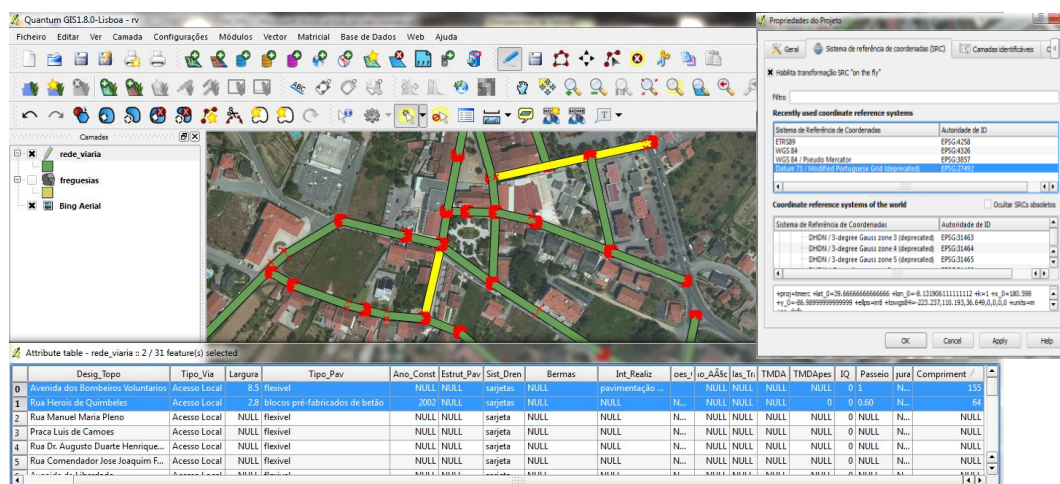


Ilustração 7. 6 - Extratos do projeto SIG

## 7.1.2 Avaliação da Qualidade do Pavimento Flexível

A determinação do índice de qualidade do pavimento inicia-se com o cálculo do IRI por patologia, parâmetro quantificando da forma indicada na Tabela 3. 7. Como se referiu, os níveis de gravidade, para cada degradação considerada, resultam da ponderação dos níveis de gravidade registados ao longo da via, ponderados em função das respetivas extensões de ocorrência.

O valor do IRI obtido de 2000 mm/km foi determinado com base no nível de gravidade mais elevado das patologias consideradas, de acordo com os cálculos que se seguem:

$$Fendilhamento (C) = \frac{\text{Gravidade} \times \text{comprimento afectado}}{\text{Comprimento total}} = \frac{3 \times 30}{155} = 0,77 \rightarrow \text{Tipo 1}$$

$$Degradações Superficiais (S) = \frac{\text{Gravidade} \times \text{comprimento afectado}}{\text{Comprimento total}} = \frac{3 \times 108}{155} = 2,09 \rightarrow \text{Tipo 2}$$

$$Covas ou Ninhos (S) = \frac{\text{Gravidade} \times \text{comprimento afectado}}{\text{Comprimento total}} = \frac{3 \times 12,1}{155} = 0,23 \rightarrow \text{Tipo 1}$$

$$Reparações (P) = \frac{\text{Gravidade} \times \text{comprimento afectado}}{\text{Comprimento total}} = \frac{3 \times 31}{155} = 0,60 \rightarrow \text{Tipo 1}$$

O Índice de Qualidade (IQ) é assim determinado através de:

$$IQ = 5 \times e^{-0,0002598 \times IRI} - 0,002139 \times R^2 - 0,10 \times (C + S + P)^{0,5} =$$

$$= 5 \times e^{-0,0002598 \times 3500} - 0,002139 \times 0^2 - 0,10 \times (25,8 + 69,7 + 7,8 + 20)^{0,5} = 2,1$$

Atendendo a que IQ = 2,1 classifica-se o estado deste pavimento como medíocre (IQ < 2.5), conforme Tabela 3. 8., como se mostra na Ilustração 7.7.



| ÍNDICE DE QUALIDADE _ IQ                     |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
|--|---|-------------------|--------------------|-----------|----------------|-----------|-------------------|-----------|------|
| VIA: Av. Bombeiros Voluntários               |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
| SECÇÃO: 0                                    |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
| COMPRIMENTO: 155                             |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
| LARGURA MÉDIA : 8,5                          |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
| ÁREA: 1317,5                                 |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
| Patologias                                   | G | Comprimento Total | Prof rodeiras (mm) | Área (m²) | Área Total(m²) | % Afetada | IRI por patologia |           |      |
|  |   |                   |                    |           |                |           | Cálculo           | Tipologia | IRI  |
| Rodeiras (R)                                 | 1 | 0                 | 0                  |           |                | 0,0       | 0,00              | Tipo 1    | 700  |
|  | 2 | 0                 | 0                  |           |                |           |                   |           |      |
|  | 3 | 0                 | 0                  |           |                |           |                   |           |      |
| Fendilhamento (C)                            | 1 | 0                 |                    | 0         | 340            | 25,8      | 0,77              | Tipo 1    | 700  |
|  | 2 | 0                 |                    | 0         |                |           |                   |           |      |
|  | 3 | 40                |                    | 340       |                |           |                   |           |      |
| Degradações Superficiais (S)                 | 1 | 0                 |                    | 0         | 918,0          | 69,7      | 2,09              | Tipo 2    | 2000 |
|  | 2 | 0                 |                    | 0         |                |           |                   |           |      |
|  | 3 | 108               |                    | 918       |                |           |                   |           |      |
| Covas ou Ninhos (S)                          | 1 | 0                 |                    | 0         | 102,9          | 7,8       | 0,23              | Tipo 1    | 700  |
|  | 2 | 0                 |                    | 0         |                |           |                   |           |      |
|  | 3 | 12,1              |                    | 102,85    |                |           |                   |           |      |
| Reparações (P)                               | 1 | 0                 |                    | 0         | 263,5          | 20,0      | 0,60              | Tipo 1    | 700  |
|  | 2 | 0                 |                    | 0         |                |           |                   |           |      |
|  | 3 | 31                |                    | 263,5     |                |           |                   |           |      |
| IRI do pavimento (mm/km)= 2000 —————> Tipo 2 |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |
| IQ = 2,1 —————> <b>MEDÍOCRE</b>              |   |                   |                    |           |                |           |                   |           |      |

Ilustração 7.7- Determinação do Índice de Qualidade

O IQ determinado tem por base a extensão total do pavimento, mas os últimos 47 m encontram-se em bom estado de conservação, conforme já referido. Assim e para confirmação do IQ efetuou-se novamente o cálculo mas apenas para os 108 m. Verificou-se que o IQ=1,2 mantendo-se o estado de conservação como medíocre.

### 7.1.3 Avaliação da Qualidade do Pavimento de Blocos Prefabricados de Betão

A avaliação da qualidade baseada no cálculo do PCI inicia-se com a determinação da densidade das degradações, através da divisão da área, ou comprimento, ou largura, afetada por cada degradação, pela área, ou comprimento, ou largura total da via. Por exemplo, para as rodeiras a densidade =  $(64/(64 \times 2,8)) \times 100 = 35,71\%$ .

Na Ilustração 7. 8 apresentam-se os valores da densidade das degradações e da análise das curvas de dedução.

| Determinação do PCI                         |   |                        |                        |                                      |
|---|---|------------------------|------------------------|--------------------------------------|
| pavimentos de blocos prefabricados de betão |   |                        |                        |                                      |
| VIA:  |   | Rua Heróis de Quimbele |                        |                                      |
| SECÇÃO:                                     |   |                        |                        |                                      |
| INÍCIO (m):                                 |   | 0                      | LARGURA MÉDIA (m): 2.8 |                                      |
| FIM (m):                                    |   | 64                     |                        |                                      |
| PATOLOGIAS                                  |   | TOTAL                  | DENSIDADE %            | DV<br>(análise de curvas de dedução) |
| Bloco danificado<br>101                     | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0,04                   | 0,02                   | 0                                    |
|   | H | 0,36                   | 0,20                   | 0                                    |
| Depressões<br>102                           | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0,12                   | 0,07                   | 9                                    |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Confinamento lateral<br>103                 | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Largura excessiva da junta<br>104           | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 1                      | 0,56                   | 3,5                                  |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Escalonamento dos blocos<br>105             | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Empolamento dos blocos<br>106               | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0,16                   | 0,09                   | 11                                   |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Arrastamento horizontal dos blocos<br>107   | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 1,56                   | 0,87                   | 5                                    |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| "Bombagem" ou subida dos finos<br>108       | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 1,5                    | 0,84                   | 1                                    |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Falta de blocos<br>109                      | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Reparações<br>110                           | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
| Rodeiras<br>111                             | L | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   | M | 64                     | 35,71                  | 60                                   |
|   | H | 0                      | 0,00                   |                                      |
|   |   |                        |                        | TDV= 89,5                            |
|   |   |                        |                        | q= 5                                 |

Ilustração 7. 8 - Determinação do PCI

Através das curvas de dedução determina-se o valor deduzido para cada patologia, com base na gravidade e densidade da patologia. A título demonstrativo apresenta-se na Ilustração 7. 9, o

gráfico correspondente às rodeiras, cuja densidade de rodeiras de nível M corresponde a 35,71% da área total da via, logo o valor deduzido é 60.

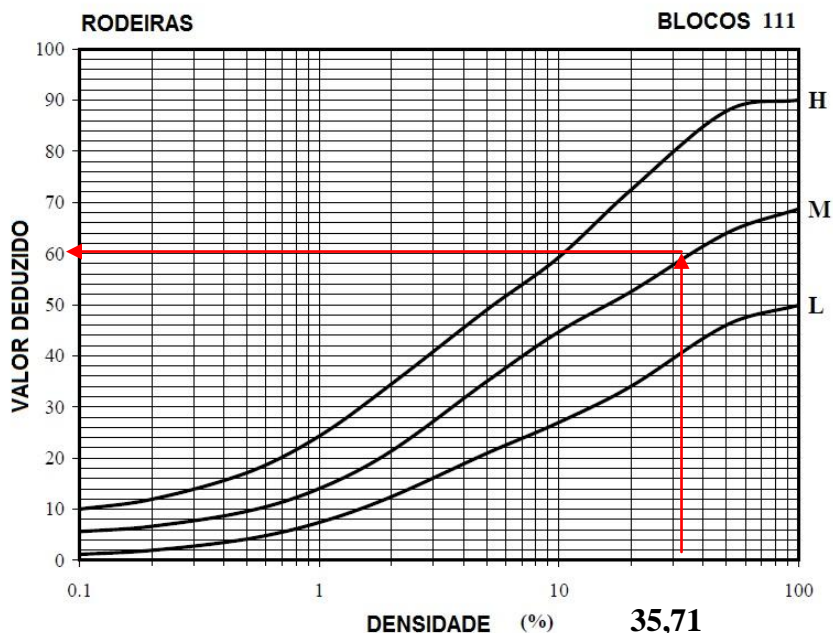


Ilustração 7. 9 - Curva de dedução para as rodeiras

O número total de DV é 8, uma vez que se observam 8 tipos diferentes de degradações. O valor  $q=5$  (número de DV > 2). O valor deduzido total (TDV) é determinado pelo somatório dos valores deduzidos individuais,  $TDV=9+3,5+11+5+1+60=89,5$ .

Com o TDV e o parâmetro  $q$  determina-se o CDV através do gráfico que faz a correspondência entre os parâmetros TDV, CDV e  $q$ . Assim com  $TDV=89,5$  e  $q= 5$  obtém-se o  $CDV=53,5$ , conforme se ilustra na Ilustração 7. 10.

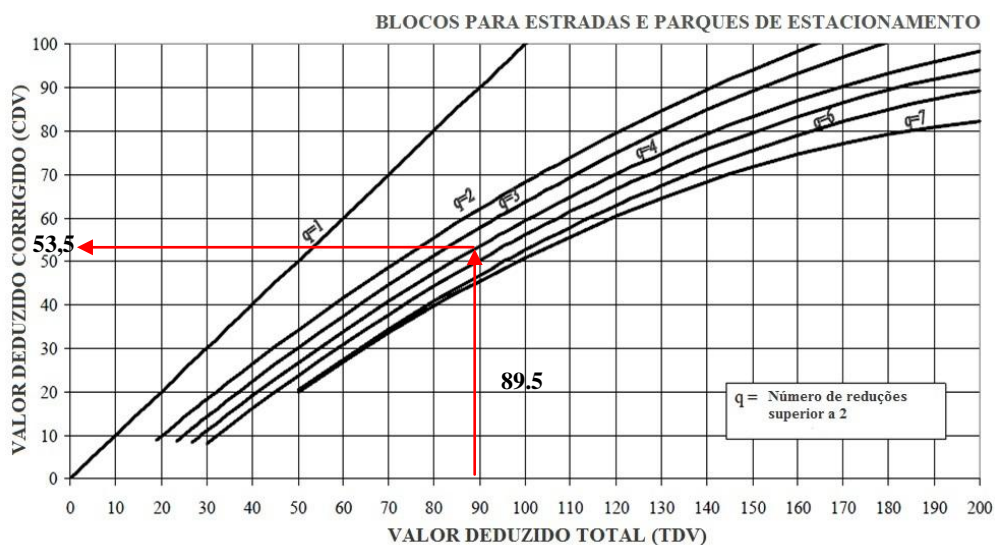


Ilustração 7. 10 - Gráfico para determinar o valor deduzido corrigido

Então o  $PCI = 100 - CDV = 100 - 53,5 = 46,5$ , correspondente a um pavimento com **razoável qualidade superficial**.

---

#### 7.1.4 Avaliação da Estratégias

Determinado o IQ do pavimento é necessário definir estratégias para decidir qual o prazo de intervenção, por forma a reduzir custos e manter a qualidade do pavimento.

Como não é conhecida a estrutura e o historial dos pavimentos flexível e de blocos, vamos utilizar a metodologia simplificada do *Asphalt Institute*, para a determinação do prazo de intervenção com ações de conservação.

No que respeita ao pavimento flexível, com a correspondência apresentada na Tabela 6. 1, entre o IQ e o PCI, como o  $IQ=2,1$  e para IQ entre 2 e 3 o PCI está entre 40 e 60, determina-se o PCI da via através da regra de três simples, em que 1 (3-2) corresponde a 20 (60-40), então 0,9 (3-2,1) corresponde a 18. Logo o  $PCI=60-18=42$ .

Conhecido o PCI e sendo a Av. dos Bombeiros Voluntários uma via de acesso local, recorre-se à matriz de decisão apresentada na Tabela 6. 3, e conclui-se que este pavimento necessita de reabilitação a curto prazo.

Quanto ao pavimento de blocos prefabricados de betão, com um  $PCI=46,5$ , conclui-se que o prazo máximo de intervenção, na Rua Heróis de Quimbele, é de 5 anos.

#### 7.1.5 Conservação de Pavimentos Flexíveis

A seleção da técnica de conservação deve contemplar a análise das possíveis soluções técnicas, a sua eficiência e durabilidade, análise do seu desempenho, condicionantes e custo-benefício.

Na Tabela 4.3.1 para uma via de acesso local com  $IQ < 2,5$ , são propostas quatro alternativas de técnicas de conservação ordenadas como primeira opção: 1º aplicação de microaglomerado betuminoso a frio; 2º aplicação de microbetão rugoso; 3º aplicação de um revestimento superficial duplo, ou de camada de betão betuminoso AC 14 Surf; 4º fresagem do pavimento, reparação de covas e aplicação de revestimento superficial duplo.

#### 7.1.6 Conservação de Pavimentos de Blocos

O pavimento da Rua Heróis de Quimbele, possui rodeiras em toda a sua extensão. No entanto, atendendo a que se trata de uma via de sentido único, de pequena extensão, o conforto não está muito afetado, pelo que se entende não ser necessário proceder ao levantamento e recolocação do pavimento.

No entanto, podem ser efetuadas outras ações de conservação, tais como:

- Limpeza da vegetação existente nas juntas, manualmente com recurso a ferramentas pontiagudas ou com utilização de herbicida, por aspersão ou adição ao material a colocar nas juntas; após a limpeza será necessário adicionar material de fecho das juntas;
- Selagem do pavimento para estabilização do material existente nas juntas e proteção da superfície do bloco;

- Adição de material de fecho das juntas para manter o travamento dos blocos, com espalhamento e vibração da superfície com recurso a placa vibratória, para que haja penetração efetiva do material;
- Substituição dos blocos com defeito, ou a simples troca de face do bloco.

## **7.2 Pavimentos de Coimbra**

Este caso prático corresponde ao levantamento e avaliação de ruas da cidade de Coimbra realizado no âmbito de uma dissertação realizada no ISEC (Santos, 2014), utilizando as metodologias apresentadas neste manual e cujos resultados se transcrevem nesta seção.

De modo a complementar a informação disponível, optou-se por proceder à recolha de elementos para elaborar uma base de dados suficiente para a caracterização do estado atual dos pavimentos nos trechos selecionados. A recolha da informação permitiu o cálculo do IQ dos trechos escolhidos e uma previsão desse mesmo estado para um período de 10 anos. Para a avaliação do estado dos pavimentos através dos valores de IQ foram consideradas as estruturas dos pavimentos existentes e as espessuras de todas as camadas constituintes dessas estruturas, assim como o módulo de deformabilidade ( $M_r$ ) das fundações dos pavimentos.

A constituição das estruturas dos pavimentos e as espessuras das respetivas camadas foram obtidas através dos serviços técnicos da Câmara Municipal de Coimbra. Os valores dos módulos de deformabilidade ( $M_r$ ) foram estimados, tendo em conta os valores típicos dos materiais constituintes e o estado atual de conservação dos pavimentos. As patologias foram levantadas por observação direta dos trechos para a realização deste trabalho.

Outra informação importante para o estudo da evolução do estado de conservação é a relativa ao Tráfego Médio Diário de Anual de pesados (TMDAp) previsto para cada trecho da rede.

Ora, para o conhecimento da evolução futura do tráfego é necessário conhecer o TMDAp atual. Para isso, recorreu-se à informação disponibilizada pela Metro-Mondego SA, relativa a contagens efetuadas em alguns pontos da rede. Esta informação foi complementada com dados recolhidos nos horários das carreiras de transportes coletivos dos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC), de modo a estimar com maior rigor o tráfego de pesados. Em alguns casos, além do tráfego de autocarros, contabilizou-se um acréscimo de vinte por cento para aquele valor, de modo a ter em conta, por um lado, o tráfego relativo a cargas e descargas de estabelecimentos comerciais e, por outro lado, o tráfego associado aos serviços de recolha de resíduos sólidos urbanos (pela empresa ERSUC).

### **7.2.1 Inventário e Levantamento das Características Superficiais**

As ruas constituintes do trajeto são as seguintes: Rua do Brasil, Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira, Rua João de Deus Ramos, Rua Carolina Michaelis, Rua Sacadura Cabral, Avenida António Portugal, Rua Afrânio Peixoto, Rua Dr. Afonso Romão, Circular Interna, Circular Externa, Rua Padrão, N111-1, Avenida Cidade Aeminium, Avenida Emídio Navarro, Avenida da Lousã e Avenida Cónego Urbano Duarte. A observação dos pavimentos no itinerário foi feita por esta ordem, percorrendo um circuito fechado. Na Ilustração 7. 11 é possível ver-se o itinerário estudado, estando ainda assinalado o local onde se iniciou a observação.



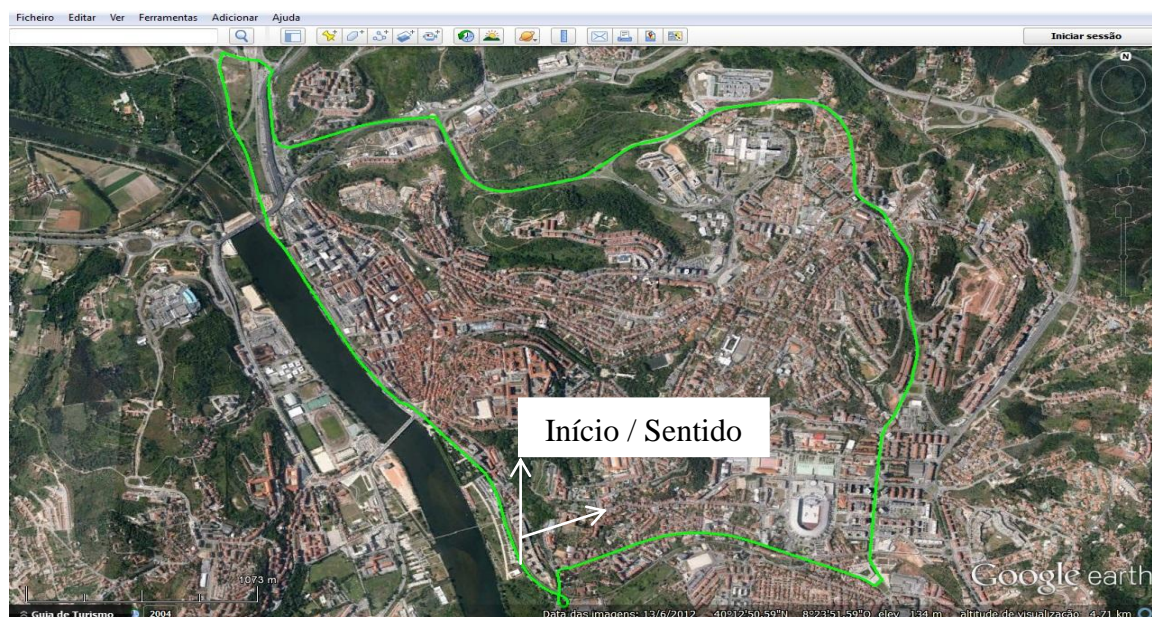


Ilustração 7. 11 - Mapa de localização do circuito selecionado para análise

Todas as vias foram divididas em trechos de 500 metros, com exceção dos casos em que o último trecho era inferior a 100 metros. Nestas situações considerou-se o último trecho em conjunto com o anterior, como é o caso, por exemplo, da Rua do Brasil, a qual tem dois trechos com 500 metros e o último tem 556 metros (resultante de 500+56).

Na Ilustração 7. 12 apresenta-se um extrato dos dados resultantes do levantamento das degradações, designadamente as rodeiras, fendilhamento e peladas.

| Segmento                            | Rodeiras |                 |                   | Profundidade Média das Rodeiras (mm) | Fendilhamento |                 |           | Área Total Fendilhamento (m²) | % Área de Fendilhamento | Peladas |                 |           | Área Total Peladas (m²) | % Área de Peladas |
|-------------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|-----------|-------------------------------|-------------------------|---------|-----------------|-----------|-------------------------|-------------------|
|                                     | Nível    | Comprimento (m) | Profundidade (mm) |                                      | Nível         | Comprimento (m) | Área (m²) |                               |                         | Nível   | Comprimento (m) | Área (m²) |                         |                   |
| Rua do Brasil I                     | 1        | 0               | 5                 | 0,000                                | 1             | 195             | 97,5      | 631,5                         | 15,79                   | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 0               | 20                |                                      | 2             | 259             | 518       |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 0               | 30                |                                      | 3             | 2               | 16        |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |
| Rua do Brasil II                    | 1        | 18              | 5                 | 14,737                               | 1             | 130             | 65        | 365                           | 9,13                    | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 13              | 20                |                                      | 2             | 150             | 300       |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 7               | 30                |                                      | 3             | 0               | 0         |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |
| Rua do Brasil III                   | 1        | 0               | 5                 | 0,000                                | 1             | 130             | 65        | 147                           | 3,30                    | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 0               | 20                |                                      | 2             | 25              | 50        |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 0               | 30                |                                      | 3             | 4               | 32        |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira | 1        | 0               | 5                 | 0,000                                | 1             | 0               | 0         | 0                             | 0,00                    | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 0               | 20                |                                      | 2             | 0               | 0         |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 0               | 30                |                                      | 3             | 0               | 0         |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |
| Rua João de Deus Ramos              | 1        | 0               | 5                 | 0,000                                | 1             | 16,7            | 8,35      | 280,35                        | 12,30                   | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 0               | 20                |                                      | 2             | 136             | 272       |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 0               | 30                |                                      | 3             | 0               | 0         |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |
| Rua Carolina Michaelis              | 1        | 0               | 5                 | 0,000                                | 1             | 10              | 5         | 575                           | 19,24                   | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 0               | 20                |                                      | 2             | 231             | 462       |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 0               | 30                |                                      | 3             | 9               | 108       |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |
| Rua Sacadura Cabral                 | 1        | 0               | 5                 | 25,000                               | 1             | 0               | 0         | 683                           | 40,82                   | 1       | 0               | 0         | 0                       | 0,00              |
|                                     | 2        | 22              | 20                |                                      | 2             | 110,5           | 221       |                               |                         | 2       | 0               | 0         |                         |                   |
|                                     | 3        | 22              | 30                |                                      | 3             | 66              | 462       |                               |                         | 3       | 0               | 0         |                         |                   |

Ilustração 7. 12 - Levantamento dos parâmetros de estado (rodeiras, fendilhamento e peladas)

## 7.2.2 Avaliação da Qualidade

A avaliação da qualidade dos trechos selecionados foi feita manualmente, percorrendo todo o percurso a pé, com a ajuda de fita métrica de 25 metros, régua com 2 metros, régua com 0,20

metros, ficha de observação de pavimentos, tabela de patologias, colete refletor e capacete de proteção. Como a observação do circuito foi feita a pé, possibilitou visualizar de uma forma mais detalhada as patologias existentes.

Toda a informação recolhida foi posteriormente carregada numa folha em Microsoft Excel previamente preparada, de forma a efetuar uma avaliação da qualidade dos pavimentos.

Para a avaliação da qualidade dos pavimentos dos trechos estudados também foi utilizada a metodologia baseada no subsistema de avaliação da qualidade utilizado no Estado do Nevada, Estados Unidos da América, e aplicado à cidade de Lisboa. Na Ilustração 7. 13, apresenta-se o quadro resumo dos dados resultantes dessa avaliação.

| Segmento                             | Comprimento (m) | IRI (mm/m) | IQ Trecho | IQ Estrada |
|--------------------------------------|-----------------|------------|-----------|------------|
| Rua do Brasil I                      | 500             | 2000       | 2,520     |            |
| Rua do Brasil II                     | 500             | 2000       | 2,155     | 2,889      |
| Rua do Brasil III                    | 556             | 700        | 3,882     |            |
| Rua Monsenhor Augusto Neves Pereira  | 286             | 700        | 3,989     | 3,989      |
| Rua João de Deus Ramos               | 190             | 2000       | 2,377     | 2,377      |
| Rua Carolina Michaelis               | 249             | 2000       | 2,476     | 2,476      |
| Rua Sacadura Cabral                  | 239             | 2000       | 0,987     | 0,987      |
| Avenida António Portugal I (S-N)     | 500             | 2000       | 2,473     |            |
| Avenida António Portugal II (S-N)    | 582             | 2000       | 2,542     | 2,510      |
| Avenida António Portugal I (N-S)     | 500             | 700        | 4,083     |            |
| Avenida António Portugal II (N-S)    | 582             | 2000       | 1,695     | 2,799      |
| Rua Afrânio Peixoto I (S-N)          | 558             | 2000       | 1,725     | 1,725      |
| Rua Afrânio Peixoto I (N-S)          | 558             | 2000       | 1,150     | 1,150      |
| Rua Dr. Afonso Romão I (E-O)         | 140             | 2000       | 2,421     |            |
| Rua Dr. Afonso Romão II (E-O)        | 242             | 700        | 4,072     | 2,403      |
| Rua Dr. Afonso Romão III (E-O)       | 574             | 2000       | 1,694     |            |
| Rua Dr. Afonso Romão I (O-E)         | 140             | 2000       | 2,279     |            |
| Rua Dr. Afonso Romão II (O-E)        | 242             | 700        | 4,106     | 2,813      |
| Rua Dr. Afonso Romão III (O-E)       | 574             | 2000       | 2,398     |            |
| Circular Interna de Coimbra I (N-S)  | 500             | 700        | 4,078     |            |
| Circular Interna de Coimbra II (N-S) | 511             | 700        | 4,111     | 4,095      |
| Circular Interna de Coimbra I (S-N)  | 500             | 700        | 3,888     |            |
| Circular Interna de Coimbra II (S-N) | 511             | 700        | 4,169     | 4,030      |
| Circular Externa de Coimbra          | 500             | 700        | 4,136     |            |
| Circular Externa de Coimbra II       | 169             | 700        | 3,482     | 3,971      |
| Rua Padrão (S-N)                     | 422             | 2000       | 2,391     | 2,391      |
| Rua Padrão (N-S)                     | 422             | 2000       | 2,390     | 2,390      |
| N111-1                               | 229             | 2000       | 2,726     | 2,726      |
| Avenida Cidade Aeminium I            | 500             | 700        | 3,897     |            |
| Avenida Cidade Aeminium II           | 500             | 2000       | 2,618     |            |
| Avenida Cidade Aeminium III          | 500             | 2000       | 1,412     | 2,070      |
| Avenida Cidade Aeminium IV           | 500             | 2000       | 0,284     |            |
| Avenida Cidade Aeminium V            | 150             | 2000       | 2,295     |            |
| Avenida Emídio Navarro I             | 448             | 2000       | 2,638     | 2,638      |
| Avenida Lousã I                      | 500             | 700        | 3,945     |            |
| Avenida Lousã II                     | 225             | 2000       | 2,371     | 3,457      |
| Avenida Cônego Urbano Duarte         | 198             | 2000       | 2,407     | 2,407      |

Ilustração 7. 13 - Índices de qualidade do circuito

Após a determinação dos valores do IQ, foi possível carregar a informação no SIG utilizado, de modo a obter mapas coloridos com os diversos níveis de qualidade a que se chegou. Na Ilustração 7. 14, mostra-se, a título de exemplo, o IQ do ano zero. O mapa refere-se à determinação do IQ a partir dos dados de observação.

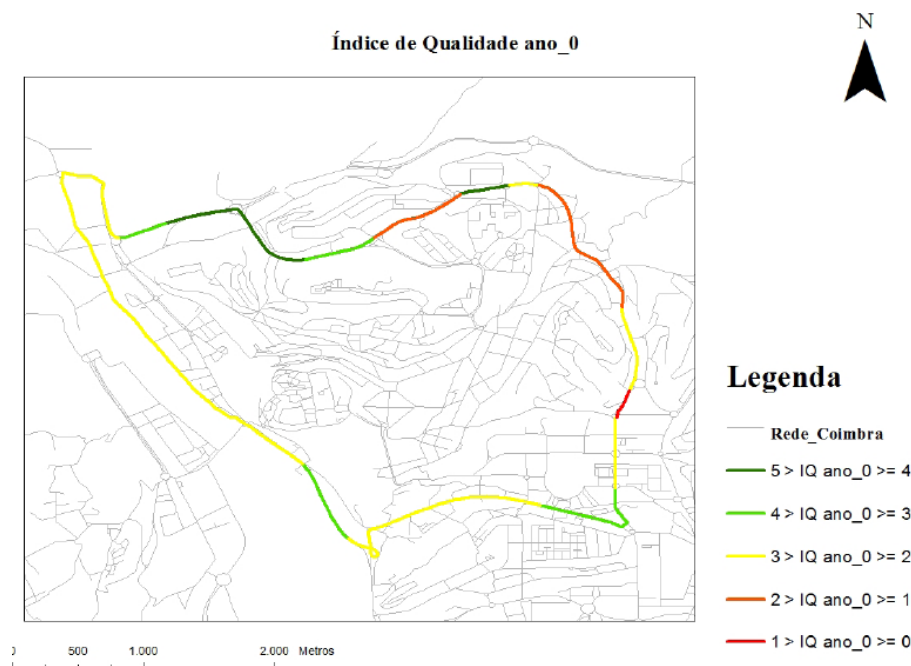


Ilustração 7. 14 - Extrato do SIG com o IQ no ano 0

### 7.2.3 Avaliação de Estratégias

A previsão da evolução do IQ no tempo reveste-se de bastante incerteza. Por essa razão, é habitual utilizar modelos que permitam inferir como evoluirá o estado dos pavimentos no futuro, quer nas situações em que são previsíveis ações de conservação, quer quando não se prevê intervir, deixando degradar os pavimentos.

As previsões dos valores do IQ foram obtidas, para os casos de trechos com tráfego de pesados assinalável, através da fórmula da AASHTO e para os casos de ruas sem tráfego de pesados, através de cadeias de Markov.

#### ▪ Evolução do Índice de Qualidade (IQ) Efetuada pelo Método da AASHTO

Através da equação (6.1) a previsão para os índices de qualidade de cada trecho foi feita para um período de dez anos, por um processo manual e relativamente simples, utilizando apenas uma folha de Excel.

A metodologia que se seguiu descreve-se a seguir de forma resumida. Após ter determinado o IQ do ano zero (o ano referente ao levantamento efetuado), determinou-se o  $N_{80t}^{Dim}$  dos anos seguintes, de dois em dois anos, considerando uma taxa de crescimento de tráfego igual a zero. Note-se que, em meio urbano, em zonas consolidadas, não é de prever um crescimento assinalável do tráfego ao longo do tempo. No caso em análise, o tráfego de pesados é praticamente o correspondente a cargas e descargas, recolha de resíduos sólidos e transportes coletivos.

Para a avaliação futura do IQ num ano  $n$ , considerou-se o incremento de tráfego do ano zero até ao ano  $n$ , para o qual se pretendia fazer a avaliação. Substitui-se na equação (6.1) o valor do tráfego referente ao ano  $n$  e utilizaram-se os restantes dados caracterizadores do pavimento.



Tendo apenas como incógnita a variação do IQ, determinou-se o valor desta variação do ano zero para o ano  $n$ . Deduzindo ao IQ do ano zero o valor de obteve-se o IQ do ano  $n$ . Utilizou-se a metodologia descrita para todos os 10 anos do período de análise. Na Ilustração 7. 15, ilustra-se um exemplo da evolução do IQ nos 10 anos após o levantamento inicial, utilizando a metodologia que se descreveu.

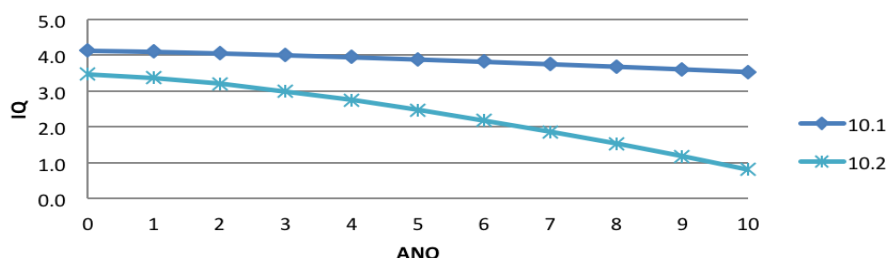


Ilustração 7. 15 - Exemplo da evolução do IQ, em dois trechos da Circular Externa, nos 10 anos (sem intervenções)

Tome-se o exemplo em que o tráfego de um ano  $n=1$ , traduzido em eixos-padrão de 80 kN, é de  $3 \times 10^5$ . Substituindo esse valor na expressão (6.1) e mantendo os restantes parâmetros inalterados, obter-se-ia uma variação do índice de qualidade  $\Delta IQ = 0,425$ . Se o IQ inicial fosse de 3,5, obter-se-ia um IQ no ano  $n=1$  de 3,075.

Tal como já foi referido anteriormente, a grande maioria das ruas no itinerário em estudo tem um tráfego de pesados não desprezável, embora com valores relativamente baixos, típicos de zonas marcadamente urbanas. Para estes casos, foi utilizado o modelo de comportamento de pavimentos da AASHTO.

Como nível mínimo de qualidade (NMQ) foi considerado o valor de 2 para o IQ, e um conjunto de cinco estratégias de conservação para o médio prazo (10 anos), que se indicam na Tabela 7. 2.

Tabela 7. 2 Estratégias de intervenção adotadas e custos associados

| Número | Descrição                                    | Custo                  |
|--------|--|------------------------|
| 1      | Não fazer nada                               | 0,00 €/m <sup>2</sup>  |
| 2      | Recuperação das características superficiais | 5,18 €/m <sup>2</sup>  |
| 3      | Reabilitação leve                            | 12,25 €/m <sup>2</sup> |
| 4      | Reabilitação média                           | 18,79 €/m <sup>2</sup> |
| 5      | Reabilitação forte                           | 21,29 €/m <sup>2</sup> |

A intervenção do tipo 1 corresponde a *Não fazer nada*, ou seja, não há qualquer ação de conservação. As restantes intervenções referem-se a ações de conservação que podem ser leves ou mais profundas, aumentando os custos das ações à medida que as intervenções têm maior impacto no estado de conservação dos pavimentos.

A aplicação de uma ação de reabilitação num pavimento faz variar o número estrutural, SN, do mesmo. O acréscimo do número estrutural varia com a espessura e o coeficiente estrutural dessa nova camada. No estudo, assumiu-se que os sistemas de drenagem dos pavimentos

funcionavam bem, pelo que os coeficientes de drenagem assumem o valor de 1. Estes coeficientes estruturais, os quais estão diretamente relacionados com os módulos de deformabilidade das camadas, assumem diferentes valores em função do tipo de camada do pavimento. Na Tabela 7. 3, apresentam-se os valores dos coeficientes estruturais a considerar por cada centímetro de espessura das camadas existentes ou construídas no âmbito de ações de conservação.

Tabela 7. 3 - Coeficientes estruturais

| Material       | Descrição                              | C <sub>n</sub> /cm |
|----------------|--|--------------------|
| BD             | Camada de desgaste em betão betuminoso | 0,17323            |
| MB             | Base betuminosa                        | 0,13386            |
| Semipenetração | Base granular com betuminoso           | 0,09449            |
| BG             | Base granular                          | 0,05512            |
| SBG            | Sub-base granular                      | 0,04331            |

Quando não são realizadas ações de conservação ou reabilitação num pavimento o seu estado vai-se degradando, ou seja, o valor do IQ vai-se depreciando. Como o número estrutural (SN) do pavimento está diretamente relacionado com o IQ, aquele vai variando também. Assim, para cada nível de intervenção pode estabelecer-se a variação do número estrutural correspondente, tal como se mostra na Tabela 7. 4.

Tabela 7. 4 - Variação do  $\Delta$ SN com os diversos níveis de intervenção

| Número | Descrição                                    | $\Delta$ SN |
|--------|--|-------------|
| 1      | Não fazer nada                               | 0           |
| 2      | Recuperação das características superficiais | 0,17323     |
| 3      | Reabilitação leve                            | 1,21261     |
| 4      | Reabilitação média                           | 2,07876     |
| 5      | Reabilitação forte                           | 2,55121     |

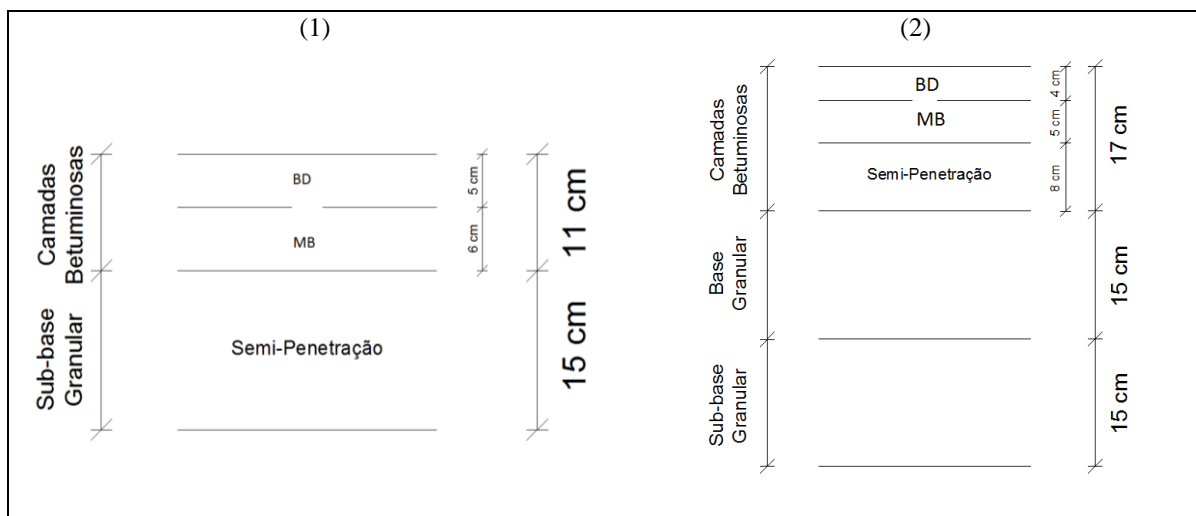
No primeiro ano de análise, ou seja, no ano em que se fez o levantamento (2014), e determinou-se o IQ. Depois, para a aplicação da fórmula da AASHTO no período de análise, utilizaram-se os parâmetros já referidos.

Vai utilizar-se o caso da Rua do Brasil (I, II, III) para apoiar a explicação de todo o processo de cálculo. O tráfego médio diário anual de pesados na via mais solicitada (TMDA<sub>p</sub>) determinado foi de 225 veículos pesados. Este valor foi obtido pela metodologia que se descreveu, tendo por base os dados fornecidos pela Metro Mondego.

No estudo de caso, como não foi usado qualquer equipamento para a avaliação mecânica do módulo de deformabilidade (Mr) da fundação, este valor foi estimado com base no estado superficial dos pavimentos, comparando com situações idênticas em que era conhecido o Mr.

Na Tabela 7. 5, são apresentadas todas as estruturas de pavimentos em avaliação do caso em estudo.

Tabela 7. 5 - Estruturas dos pavimentos da Rua do Brasil I (1) e Rua do Brasil II e III (2)



Na Tabela 7. 6, Tabela 7. 7 e Tabela 7. 8, resumem-se os valores correspondentes à evolução do IQ ao longo do tempo, utilizando o modelo da AASHTO. Os valores do tráfego utilizados em cada ano, correspondem ao número acumulado de eixos padrão até esse ano, considerando uma taxa de crescimento igual a zero. Os parâmetros caracterizadores do pavimento são os indicados no Tabela 7. 6. Os valores de IQ para o ano inicial (ano 0) são resultantes da avaliação.

Assim, é possível aplicar a expressão (6.1), ficando-se apenas com a incógnita  $\Delta IQ$ . Por exemplo, no ano 1, o IQ é determinado fazendo a diferença entre o valor do IQ no ano zero e o valor de  $\Delta IQ$  obtido.

Tabela 7. 6 - Valores e parâmetros necessários ao preenchimento da equação da AASTHO, para a Rua do Brasil

| Segmento          | ZR     | S0   | SN <sub>t</sub> | CF    | RL     | SN0   | MR (MPa) | MR (psi) | BD     |         | MB |         | Semipenetração |         | BG     |         | SBG |         |
|-------------------|--------|------|-----------------|-------|--------|-------|----------|----------|--------|---------|----|---------|----------------|---------|--------|---------|-----|---------|
|                   |        |      |                 |       |        |       |          |          | e (cm) | C       | e  | C       | e (cm)         | C       | e (cm) | C       | e   | e (cm)  |
| Rua do Brasil I   | -1,645 | 0,40 | 2,754           | 0,892 | 47,516 | 3,087 | 90       | 13053,39 | 5      | 0,17323 | 6  | 0,13386 | 15             | 0,09449 |        | 0,05512 |     | 0,04331 |
| Rua do Brasil II  | -1,645 | 0,40 | 3,041           | 0,846 | 36,091 | 3,595 | 60       | 8702,262 | 4      | 0,17323 | 5  | 0,13386 | 8              | 0,09449 | 15     | 0,05512 | 15  | 0,04331 |
| Rua do Brasil III | -1,645 | 0,40 | 3,595           | 1,000 | 90,052 | 3,595 | 100      | 14503,77 | 4      | 0,17323 | 5  | 0,13386 | 8              | 0,09449 | 15     | 0,05512 | 15  | 0,04331 |

O fator de confiança da fórmula da AASHTO é composto por duas variáveis:

Zr - simboliza o desvio padrão; assume o valor de -1,645 para uma fiabilidade de 95%.

S0 – assume valores entre 0,40 e 0,50 para pavimentos flexíveis, e entre 0,35 e 0,40 para pavimentos rígidos.

O  $SN_t$  é determinado pelas equações 7.1 a 7.4.

$$SN_t = CF \times SN_0 \quad (7.1)$$

$$CF = 0,50 + 0,0155 \times RL - (2E - 4) \times RL^2 + (E - 6) \times RL^3 \quad (7.2)$$

$$RL = \frac{IQ_t - 1,0}{4,2 - 1,0} \times 100, (\text{Se } RL > 90\% \Rightarrow CF = 1) \quad (7.3)$$

$$SN_0 = \sum_{n=1}^{n=i} e_n \times C_n \quad (7.4)$$

Em que:

$SN_t$  é o número estrutural do pavimento no ano t e é obtido através da equação (7.1);

CF é o fator de condição;

RL é a vida remanescente de um pavimento (%).

Tabela 7. 7 - Aplicação da fórmula da AASHTO para os primeiros 5 anos de previsão

| Segmento          | ANO 0 | ANO 1  |       |       | ANO 2  |        |        | ANO 3  |        |        | ANO 4  |        |         | ANO 5   |        |         |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|---------|
|                   | IQ    | N80    | ΔIQ   | IQ    | N80    | ΔIQ    | IQ     | N80    | ΔIQ    | IQ     | N80    | ΔIQ    | IQ      | N80     | ΔIQ    | IQ      |
| Rua do Brasil I   | 2,520 | 246375 | 0,234 | 2,286 | 492750 | 0,6829 | 1,8376 | 739125 | 1,2757 | 1,2448 | 985500 | 1,9875 | 0,5330  | 1231875 | 2,8034 | -0,2829 |
| Rua do Brasil II  | 2,155 | 246375 | 0,560 | 1,595 | 492750 | 1,2694 | 0,8855 | 739125 | 2,0474 | 0,1075 | 985500 | 2,8741 | -0,7192 | 1231875 | 3,7390 | -1,5841 |
| Rua do Brasil III | 3,882 | 246375 | 0,137 | 3,745 | 492750 | 0,2397 | 3,6420 | 739125 | 0,3315 | 3,5502 | 985500 | 0,4172 | 3,4644  | 1231875 | 0,4988 | 3,3829  |

Por exemplo, para o segmento Rua do Brasil I:

IQ ano 0 = 2,520; ΔIQ = 0,234

IQ ano 1 = 2,520 – 0,234 = 2,286

Tabela 7. 8 - Aplicação da fórmula da AASHTO para os últimos 5 anos de previsão

| Segmento          | ANO 0 | ANO 6   |        |         | ANO 7   |        |         | ANO 8   |        |         | ANO 9   |        |         | ANO 10  |        |         |
|-------------------|-------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|---------|
|                   | IQ    | N80     | ΔIQ    | IQ      | N80     | ΔIQ    | IQ      | N80     | ΔIQ    | IQ      | N80     | ΔIQ    | IQ      | N80     | ΔIQ    | IQ      |
| Rua do Brasil I   | 2,520 | 1478250 | 3,7130 | -1,1925 | 1724625 | 4,7087 | -2,1882 | 1971000 | 5,7848 | -3,2643 | 2217375 | 6,9363 | -4,4158 | 2463750 | 8,1593 | -5,6388 |
| Rua do Brasil II  | 2,155 | 1478250 | 4,6356 | -2,4807 | 1724625 | 5,5595 | -3,4045 | 1971000 | 6,5073 | -4,3524 | 2217375 | 7,4767 | -5,3217 | 2463750 | 8,4655 | -6,3106 |
| Rua do Brasil III | 3,882 | 1478250 | 0,5771 | 3,3046  | 1724625 | 0,6528 | 3,2289  | 1971000 | 0,7264 | 3,1553  | 2217375 | 0,7982 | 3,0835  | 2463750 | 0,8683 | 3,0133  |

No exemplo que se mostrou pode concluir-se que os valores do IQ obtidos para o segmento I e II atingem valores muito baixos logo nos primeiros anos de análise, o que corresponde a níveis de degradação elevados. Obviamente, os valores negativos obtidos não têm significado. Apenas se mostram para evidenciar qual seria a variação no tempo do estado do pavimento na situação de não serem realizadas quaisquer ações de conservação. Na Ilustração 7. 16 ilustra-se o andamento da curva de variação do IQ com o tempo. Caso se estabeleça um Nível Mínimo de Qualidade (NMQ) igual a 2, o que configura uma exigência corrente, fica patente a necessidade de intervenções nos segmentos 1.1 e 1.2 logo nos primeiros anos do período de análise. Sendo que:

1.1 – Trecho I da Rua do Brasil

1.2 – Trecho II da Rua do Brasil

1.3 – Trecho III da Rua do Brasil

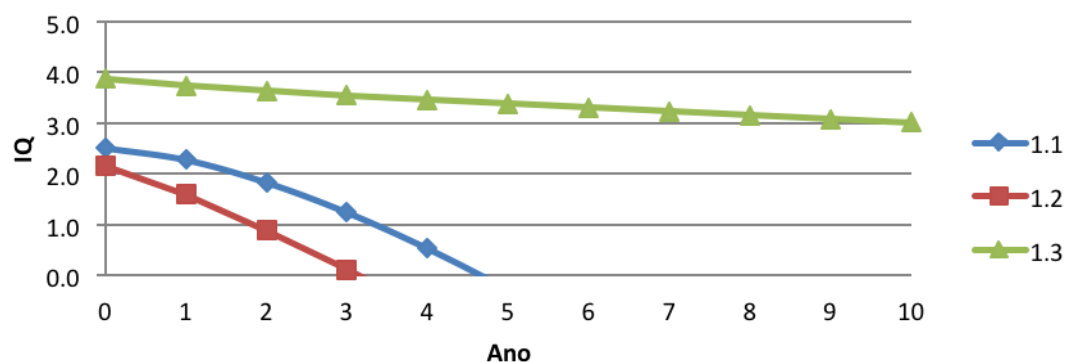


Ilustração 7. 16 - Evolução previsível do IQ para a Rua do Brasil pela aplicação do modelo da AASHTO

De modo a manter o NMQ, torna-se necessário intervir nos trechos I e II, visto que o trecho III apresenta uma previsão para o IQ no final dos dez anos de aproximadamente 3, o que é acima do NMQ. A intervenção tem de ocorrer logo no ano 1, apesar de no trecho I o valor do IQ estar compreendido entre 2 e 2,5, no ano 2 já se encontra abaixo de 2. Nas Ilustração 7. 17 e Ilustração 7. 18 é possível observar o resultado dessas intervenções no valor do IQ. Consideraram-se intervenções  $Int_i$  (com  $i = 2, 3, 4$  e  $5$ ), cuja numeração corresponde à descrição apresentada na Tabela 7. 4 - Variação do  $\Delta SN$  com os diversos níveis de intervenção.

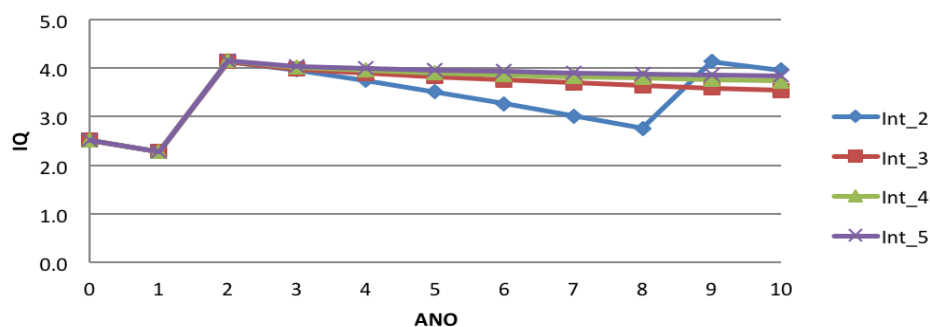


Ilustração 7. 17 - Evolução do IQ após as intervenções no trecho I da Rua do Brasil

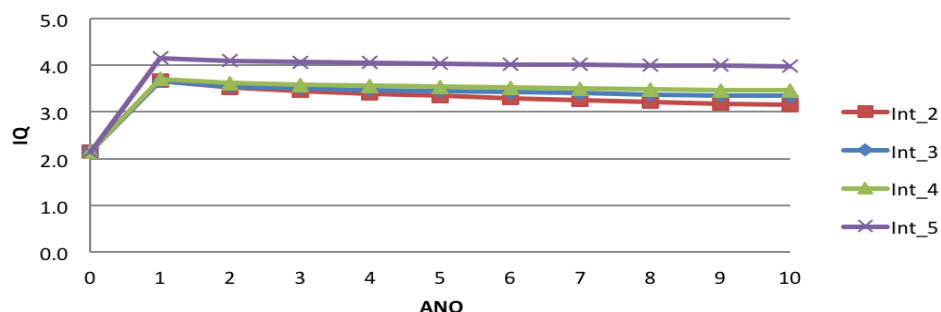


Ilustração 7. 18 -Evolução do IQ após as intervenções no trecho II da Rua do Brasil

As Ilustração 7. 17 e Ilustração 7. 18 representam, respectivamente, para os trechos I e II da Rua do Brasil, a evolução previsível do IQ, considerando em cada um dos trechos as intervenções

indicadas, com o objetivo de melhorar o nível de qualidade dos pavimentos. Fazendo intervenções do tipo 2 ao tipo 5, melhora-se o IQ para níveis entre 3 e 4, ou 4 e 5, consoante o caso, podendo decidir-se qual aplicar em função do orçamento disponível.

A aplicação de uma intervenção do tipo 2, por exemplo, considera-se adequada para eliminar o fendilhamento e reparações identificadas na fase da observação e criação da base de dados. O mesmo tipo de intervenção não foi considerado adequado para corrigir rodeiras, covas e peladas.

A aplicação de uma intervenção do tipo 3 no âmbito da metodologia seguida tem como efeito a eliminação do registo relativo a fendilhamento, reparações, e peladas, mantendo-se as rodeiras e as covas.

A aplicação de uma intervenção do tipo 4 tem como efeito a eliminação de todo o registo de patologias, exceto as rodeiras que apenas são eliminadas com intervenções do tipo 5.

#### ▪ Evolução do Índice de Qualidade Efetuada Através de Cadeias de Markov

Como se referiu, no caso em estudo, 2229 metros dos cerca de 11 mil metros da rede são solicitados por um volume de tráfego de pesados desprezável, por ser proibida a circulação de pesados nestas vias, nomeadamente na N111-1, e em grande parte da Avenida Cidade Aeminiun.

Para aplicação do método das cadeiras de Markov, calculou-se o vetor de estado inicial. Este vetor corresponde às proporções da extensão da rede classificadas em cada um dos cinco estados de conservação definidos, de “muito mau” a “muito bom”. O vetor inicial no caso em estudo é:

$$X(2014) = [0 ; 0,224 ; 0,327 ; 0,224 ; 0,224]$$

o qual significa que não há qualquer trecho em muito bom estado, 22,4% da extensão está em bom estado, 32,7% está em estado medíocre, 22,4% está em mau estado e 22,4% está em muito mau estado. Na Tabela 7. 9 apresenta-se o cálculo das percentagens para estabelecer o vetor de estado inicial.

Tabela 7. 9 - Trechos e respetivos níveis de IQ

| Níveis de IQ | Comprimento de trechos | Percentagem do total |
|--------------|------------------------|----------------------|
| 5-4          | 0                      | 0                    |
| 4-3          | 500                    | 22,4                 |
| 3-2          | 729                    | 32,7                 |
| 2-1          | 500                    | 22,4                 |
| 1-0          | 500                    | 22,4                 |
|              | Soma=2229              | 100                  |

Na Tabela 7. 10 é apresentada a matriz usada no caso em estudo, uma matriz de 5x5.

Tabela 7. 10 - Matriz de Probabilidades de Transição usada no caso em estudo

|           | Muito Bom | Bom  | Medíocre | Mau  | Muito Mau |
|-----------|-----------|------|----------|------|-----------|
| Muito Bom | 0,96      | 0,04 | 0        | 0    | 0         |
| Bom       | 0         | 0,90 | 0,10     | 0    | 0         |
| Medíocre  | 0         | 0    | 0,86     | 0,14 | 0         |
| Mau       | 0         | 0    | 0        | 0,66 | 0,34      |
| Muito Mau | 0         | 0    | 0        | 0    | 1         |

Nesta matriz os valores devem ser interpretados do modo como se descreve a seguir:

1. A probabilidade das secções transitarem de Muito Bom estado para Bom num ano é de 0,04 e a probabilidade de secções que se encontrem em Muito Bom estado se manterem neste no final do ciclo de um ano é de 0,96.
2. A probabilidade de transição de Bom estado para Medíocre no final do ciclo de trabalho de um ano é de 0,90 e a probabilidade de secções em estado Medíocre ficarem neste estado no fim do ciclo de um ano é de 0,10.
3. A probabilidade de transição do estado Medíocre para Mau no final do ciclo de trabalho de um ano é de 0,86 e a probabilidade de secções em Mau estado permanecerem nesse estado de condição no fim do ciclo de trabalho de um ano é de 0,14.
4. A probabilidade de transição de Mau estado para Muito Mau no final do ciclo de trabalho de um ano é de 0,66 e a probabilidade de secções em Muito Mau estado para ficarem neste estado ao fim do ciclo de trabalho de um ano é de 0,34.

Tendo em conta a escassez de informação histórica dos pavimentos analisados, e após a observação efetuada para conhecer melhor o seu estado atual, no gráfico da Ilustração 7. 19 mostra-se o resultado da aplicação de cadeias de Markov, para a previsão do IQ para 10 anos, considerando a inexistência de qualquer tipo de intervenção.

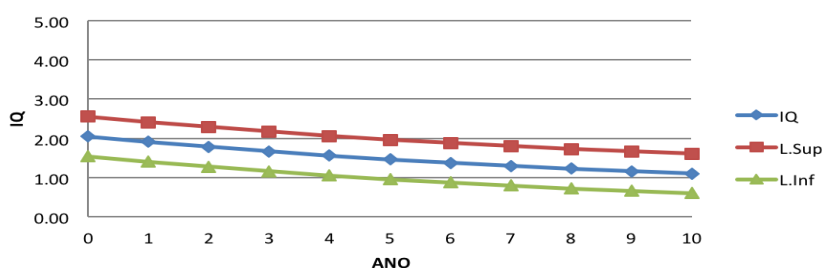


Ilustração 7. 19 - IQ da N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

Figura 0.1

Na Ilustração 7. 20 mostra-se um gráfico de barras que corresponde à evolução previsível, no tempo, das percentagens de extensão das N111-1 e da Avenida Cidade Aeminium com diferentes níveis de IQ do pavimento, no caso de não serem realizadas quaisquer ações de conservação.



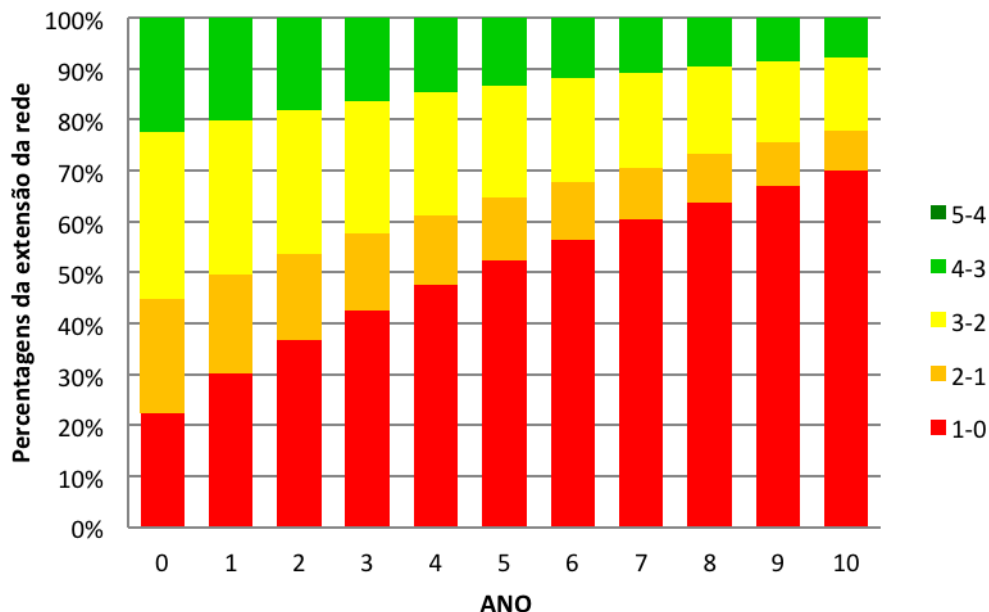


Ilustração 7. 20 - Percentagem da extensão da rede com diferentes IQ em cada ano, nas N111-1 / Avenida Cidade Aeminium, sem realização ações de conservação

Fez-se ainda uma análise de evolução do estado do pavimento após a realização de ações de conservação que elevam o estado de conservação para diferentes níveis: Muito Bom, Bom e Medíocre.

Na primeira análise considerou-se a elevação do estado do pavimento para o intervalo entre 5-4, ou seja, para um estado considerado Muito Bom. Para isso, foi necessário criar um vetor inicial igual a:

$$X(2016) = [1 ; 0 ; 0 ; 0 ; 0]$$

O resultado obtido é o apresentado na Ilustração 7. 21.

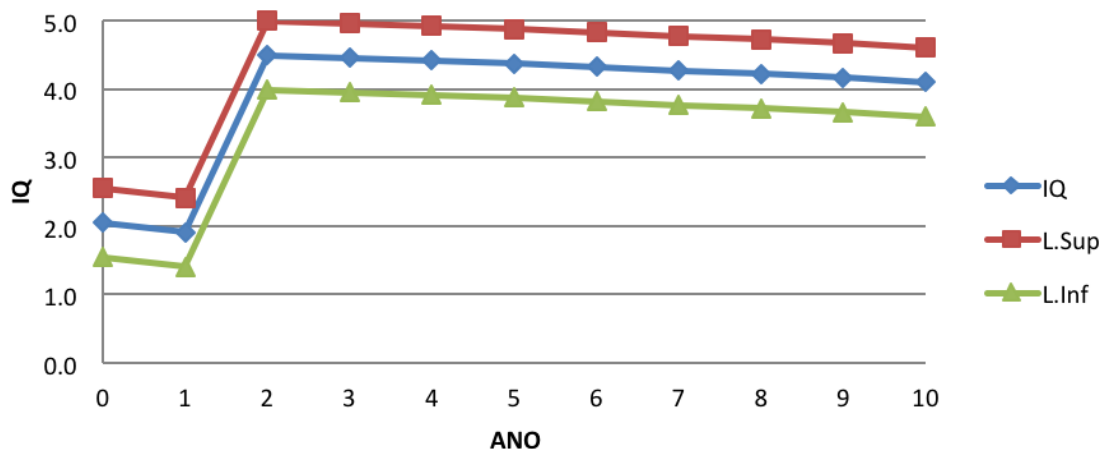


Ilustração 7. 21 - IQ da N111-1 / Avenida Cidade Aeminium com intervenção no ano 2

Na Figura 4.32 é mostrado um gráfico de barras, no qual se apresenta a percentagem provável de extensão da rede nos diferentes estados de conservação, em cada ano, após uma intervenção que elevou o IQ para Muito Bom (nível 4-5), aplicada no final do ano 1.

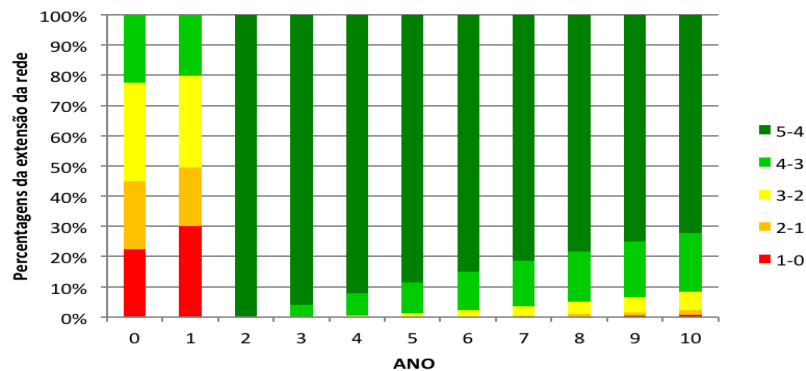


Ilustração 7. 22 - Percentagens da extensão da rede com diferentes IQ após elevação do IQ para o nível de Muito Bom estado, na N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

Como se pode verificar na Ilustração 7. 22, após a ação de conservação efetuada, a partir do ano 2, o pavimento fica em estado quase novo, com valores de IQ entre 5 e 4, diminuindo nos anos seguintes o estado de conservação do pavimento.

Efetuiu-se ainda a previsão de comportamento do pavimento quando o estado atual é elevado para bom ou apenas razoável, alterando o vetor inicial. Dessa análise, cujos gráficos se apresentam Ilustração 7 23, resultou que uma intervenção no pavimento que permita um estado de conservação razoável (com poucas reparações) já não trás vantagens. Apenas melhora o IQ para intervalos entre 3 e 2, o que leva a uma degradação rápida do pavimento nos anos seguintes.

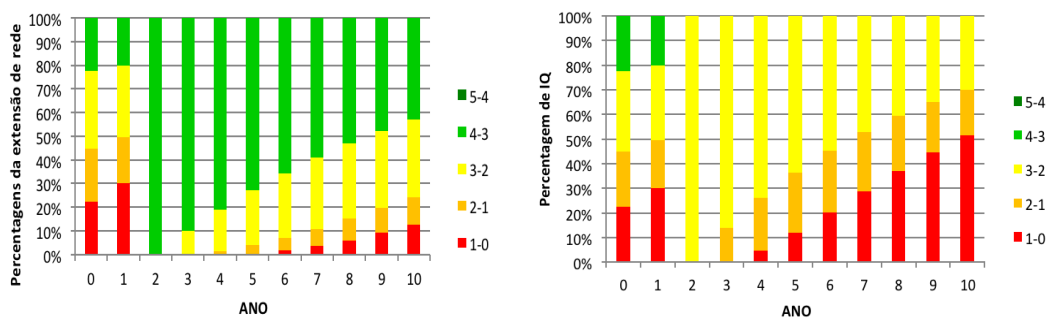


Ilustração 7 23 - Percentagens de IQ após intervenção para um estado Bom (imagem da esquerda) ou Razoável (imagem da direita) na N111-1 / Avenida Cidade Aeminium

---

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO (1993). Guide for Design of Pavement Structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. USA.
- ABCP(2010). Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público. Associação Brasileira de Cimento Portland. São Paulo, Brasil
- Alconada, I. B. (2011). Contribuição para o Estudo do Comportamento Mecânico de Misturas Betuminosas Mornas, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Almeida, A., Picado, L., Capitão, S. D. (2013). Avaliação do Efeito da Irregularidade Longitudinal na Vida do Pavimento usando o Método dos Elementos de Fronteira. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Alves, T. (2007). Metodologias de Auscultação de Pavimentos Rodoviários Aplicação Prática do Radar de Prospeção e do Deflectómetro de Impacto, dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Ascenso, S. R. (2011). Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários - Avaliação das características Superficiais, relatório de estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Asphalt-Institute. (2009). Asphalt in Pavement Preservation and Maintenance, 4th Edition. Asphalt Institute. USA.
- Azevedo, M. C. (2010). Indicadores de Segurança do Estado dos Pavimentos, Instituto de Infraestruturas. Comunicação apresentada em Projetos para o Futuro - Fórum de Inovação e Normalização. Lisboa.
- Barreto, F. M. (2013). Beneficiação, Reabilitação e Manutenção de Estradas, dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Barros, R. B. (2004). Rui Barros. Medição do Coeficiente de Atrito com o “Grip-tester”. Comunicação apresentada no III Congresso Rodoviário Português - Estrada 2004. Lisboa.
- Bernucci, L., Motta, L., Ceratti, J., Soares, J (2008). Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros. Rio de Janeiro.
- Branco F., Pereira, P., Picado, L. (2011). Pavimentos Rodoviários. Coimbra. Almedina
- Brett (2014). Paving Maintenance and Repair Guide. Brett Landscaping & Building Products.
- Capitão, S. D. (2014). Abertura e Tapamento de Valas em Pavimentos Rodoviários. Instituto Superior de Educação de Coimbra.
- Capitão, S. D. (2011). Pavimentos de blocos. Comunicação apresentada no âmbito da FENGE 2011. Instituto Superior de Educação de Coimbra. Coimbra.
- Carvalho, T., Colas, M.. (2013). Microaglomerados a Frio. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Carvalho, D. B. (2011). Considerações sobre a utilização de pavimentos intertravados e betuminosos em áreas urbanas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana. São Paulo, Brasil.

- 
- CCDRN (2010). Manual de Acessibilidades e da Gestão Viária. Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional do Norte. Porto.
- CDM (2003). Maintenance Technical Advisory Guide. Volume I- Flexible Pavement Preservation Fog Seals, chapter 6. Caltrans Division of Maintenance. Califórnia.
- Cunha, C. M. (2010). Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis Diferentes Tipos de Reciclagem, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa.
- DER/PR (2005). DER/PR ES-P 31/05 - Pavimentação: Fresagem a frio. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná. Curitiba, Panamá.
- DGEG (2009). Manual da Calçada Portuguesa. Direção Geral de Energia e Geologia. Lisboa.
- EP (2009). Caderno de Encargos Tipo Obras. Estradas de Portugal S.A. Lisboa.
- EP (2012). Manual PAV\_TEC- Técnicas e metodologias para a melhoria do estado dos pavimentos, Seleção de Técnicas para a Conservação Preventiva de Pavimentos. Estradas de Portugal S.A.. Lisboa.
- EP (2008). Catalogo de Degradações das Estradas de Portugal. Estradas de Portugal S. A. Lisboa.
- Eugénio, B. M.. (2008). Relatório de projeto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, Especialização em Vias de Comunicação. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.
- Falcão, P., Farias, M., Santos, A. (2005). Estudo da Macro e Micro Textura do Pavimento da Br-060 no Trecho das Sete Curvas. Comunicação da 36ª Reunião Anual de Pavimentação. Curitiba, Brasil.
- Ferreira, A. (1996). Sistema de Gestão da Conservação de Pavimentos de Rede Rodoviárias - Sistema de Informação Geográfica aplicado na Gestão da Conservação da Rede Rodoviária Municipal - Aplicação à Rede Rodoviária de Coimbra. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, especialidade de Engenharia Urbana, apresentada à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- Ferreira, J. M.. (2007). Pavimentos em Espaços Públicos Urbanos-Contribuição para a Análise e Conceção de Soluções, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Território. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.
- Figueiredo, N., Capitão, S. D., Neves, J.. (2013). Avaliação e conservação de pavimentos rodoviários municipais com baixo tráfego – situação existente e metodologia de apoio. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Figueiredo, N. P. (2011). Avaliação e Conservação de Pavimentos Rodoviários Municipais com Baixo Tráfego- Contribuição para uma Metodologia de Apoio, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Francisco, A. P. (2012). Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Relatório Final de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia da Construção. Instituto Politécnico de Bragança. Bragança.
- Freitas, M. R. (2012). Avaliação Numérica do Comportamento de Reforços de Pavimento à Reflexão de Fendas. Dissertação de Mestrado em Engenharia da Construção. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão. Bragança.

- 
- Gardete, D. C. (2006). Comparação de Ensaios Laboratoriais para a Caracterização de Misturas Betuminosas à Deformação Permanente. Dissertação submetida à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Rodoviária. Coimbra
- Hassan, R., Lin, O., Thananjeyan, A. (2014). Modelling subjective condition data of asphalt surfaced urban pavements. Transport Research Arena 2014. Paris.
- Hein, D. K., Aho, B., Burak, R.. (2009). Development of a Pavement Condition Index Procedure for Interlocking Concrete Pavements. 9th. International Conference on Concrete Block Paving. Buenos Aires, Argentina.
- Horta, C. S., Pereira, F., Lopes, S., Morgado, J. (2013). O Sistema de Gestão de Conservação de Pavimentos das Estradas de Portugal, S.A. – Balanço de uma Implementação Consolidada. 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- ICPI & ARA (2007). Interlocking Concrete Pavement - Distress Manual. Interlocking Concrete Pavement Institute e Applied Research Associates, Inc.. Canadá.
- ICPI (1996). Tech Spec 6- Reinstatement of interlocking concrete pavements. Interlocking Concrete Pavement Institute. Canadá.
- LNEC (2008). Eficiência e durabilidade das técnicas de conservação e reabilitação de pavimentos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- LNEC (2005). Caracterização do Estado dos Pavimentos. Curso de formação Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviários. Simona Fontul. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.
- Loup, F., Pouget, S., L'Huillier, J. M., Ber, J., Huon, P. et al. (2014). Biocold enrobé - semi-tiède pour l'entretien des couchés de roulement et du patrimoine routier. Revue générale des routes et de l'aménagement - Paris : RGRA - S.A.S., 2014. - ISSN 1290-256X. - n° 919, pp. 73-76.
- Luz, A. F. (2011). Contribuição para a Modelação do Índice de Qualidade na Caracterização da Rede Rodoviária Nacional, Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Maia, I. M. (2012). Caracterização de Patologias em Pavimentos Rodoviários, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil — Especialização em Vias de Comunicação. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto
- Menezes, M. V. (2008). Estudo das Características de Superfície de Pavimentos Rodoviários para Análise da Segurança do Tráfego, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Milestones (2009). Pavement Condition Index 101. Ogra's Milestones. Toronto, Canadá.
- Minhoto, M. J. (2005). Consideração da Temperatura no Comportamento à Reflexão de Fendas dos Reforços de Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. Universidade do Minho. Minho.
- Miranda, H. M. B. (2008). Resistência à Fadiga de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Alta Percentagem de Borracha, tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
-

- 
- Morgado, P. R. (2008). Conceção e Dimensionamento de Pavimentos em Blocos, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.
- Nikolaides, A. F. (2008). Very thin surfacing: a beneficial and cost effective alternative to traditional surfacing materials for flexible pavements. International Conference on Transport Infrastructures. iSMARTi, international Society for Maintenance And Rehabilitation of Transport Infrastructures. Universidade do Minho. Minho.
- Pereira, P. A., Santos, L. P., Ferreira, A. (2006). Estruturação de um Sistema de Gestão de Pavimentos para uma Rede Rodoviária de Carácter Nacional. "Engenharia Civil". ISSN 0873-1152. , pp. 45-59.
- Pereira, R. X. (2010). Misturas Betuminosas Temperadas: Estudo da Interação Aditivo-Ligante. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Aveiro.
- Picado dos Santos, L., Ferreira, A., Antunes, A., Carvalheira, C., Santos, B., Bicho, M., Quadrado, I., Silvestre, S.(2004). Pavement Management System for Lisbon. Proceedings of the ICE - Municipal Engineer, Volume 157, Issue 3 , pp. 157-165.
- Picado dos Santos, L., Ferreira, A., Pereira, P., Azevedo, M. (2006). A Avaliação de Estratégias no Âmbito do Sistema de Gestão de Pavimentos da EP. IV Congresso Rodoviário Portugê. Estoril.
- Picado dos Santos, L. (2011). Gestão da Conservação de Pavimentos de Infraestruturas de Transportes. Instituto Superior Técnico-Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Lisboa.
- Picado dos Santos, L. (2013). Misturas Betuminosas, Materiais Elementares: Betume e Agregados e Tipos Correntes de Misturas Betuminosas. Apresentação da disciplina Vias de Comunicação do Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Instituto Superior Técnico. Lisboa.
- Picado dos Santos, L. (2012). Sistema de Gestão de Pavimentos Rodoviários. Apresentação em aula do Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Pimenta, J. G. (2008). Pavimento Urbano:Adequação ao Uso - Reflexões a Propósito do Espaço Público no Contexto do Centro Histórico de Lisboa. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Arquitetura. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa.
- Pinto, J. I. B. (2003). Caracterização do Estado Superficial de Pavimentos Rodoviários. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Vias de Comunicação. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Porto.
- Recipav (2007). Cláusulas Técnicas Especiais para Mistura Betuminosa Rugosa, Cláusulas Técnicas Especiais para Mistura Betuminosa Aberta, Utilização BMB em Portugal de 1999 a 2007. Recipav, Engenharia e Pavimentos, S.A..Sines.
- Ribeiro, R. M. (2012). Aplicação de Mistura Betuminosa Aberta com Betume Modificado com Alta Incorporação de Borracha na Reabilitação de Pavimentos Rodoviários. Dissertação de Mestrado. Instituto Politécnico de Viseu. Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu. Viseu.
- Rodrigues, M. F. (2012). Misturas Betuminosas com Incorporação de Borracha de Pneu – A Experiência Portuguesa. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em

- 
- Engenharia Civil – Especialização em Construção Urbana. Instituto Superior Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Sandberg, U., Kragh, J., Goubert, L., Bendtsen, H., Bergiers, A., Biligiri, K. P., Karlsson, R., Nielsen, E., Vansteenkiste, S. (2010). Optimization of Thin Asphalt Layers – State-of-the-Art Review. ERA-NET ROAD Project "Optimization of thin .
- Santos, O. F. (2014). Avaliação da Sensibilidade em Estudos de Gestão. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção Urbana. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.
- Santos, A. (2007). Estudo da Eficácia na Redução do Ruído de Tráfego em Pavimentos Drenantes. Tese de Mestrado em Engenharia Rodoviária. Universidade do Minho. Minho.
- Santos, B. (2007). Modelação dos Custos dos Utentes na Gestão da Estrada. Dissertação apresentada à Universidade da Beira Interior para a obtenção do grau de doutor em Engenharia Civil. Universidade da Beira Interior, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Covilhã.
- Santos, M. J. (2009). Dimensionamento de Camadas de Reforço de Pavimentos Rodoviários Flexíveis. Dissertação de Mestrado. Universidade de Aveiro. Aveiro.
- Sardão, E., Capitão, S. D., Almeida, A., Santos, L. P. (2013). Atrito Superficial de Camadas Betuminosas que Incorporam Agregados de Seixo Britado. Comunicação apresentada no 7º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Seixas, P. (2006). Microaglomerado Betuminoso a Frio uma Técnica de Referência, Comunicação apresentada no 4º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Shackel, B., Pearson, A. (2014). PA 04 - Concrete Segmental Pavements- Maintenance Guide. Concrete Masonry Association or Australia. Austrália.
- Silva, C. O. (2013). Execução e Manutenção de Pavimento Intertravado. Comunicação apresentada na Reunião de Pavimentação Urbana. Cuiabá, Associação Brasileira de Cimento Portland. Brasil.
- Silva, H. M. R., Oliveira, J., Couto, C. F. (2009). Avaliação do Desempenho de Misturas Betuminosas Temperadas. Artigo apresentado no XV Congresso Ibero- Latinoamericano del Asfalto. Lisboa.
- Silva, R. J. (2012). Contribuição para o Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Fendilhamento de Pavimentos Rodoviários. Contribuição para o Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Fendilhamento de Pavimentos Rodoviários. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Specht, L. P., Rozek, T., Hirsch, F., Santos, R. T. (2007). Evaluation of Pavement Macrotecture by Sand Patch Technique. Artigo publicado em Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.10 , pp. 30-38.
- Stuchi, E. T. (2005). Interferências de Obras de Serviços de Água e Esgoto sobre o Desempenho de Pavimentos Urbanos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, Brasil.
- Tavares, M. J. (2013). Sistemas de Apoio à Conservação Corrente. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil. Covilhã: Universidade da Beira Interior.



- 
- Transportation. (1999). Sealing and Filling of Cracks for Bituminous Concrete Pavements, Selection and Installation Procedures. Michigan Department of Transportation. Michigan Technological University. Michigan, USA.
- USIRF. (2006). Les Émulsions de Bitume (Vols. Routes de France - Section SFERB). Union des Syndicats de L'Industrie Française. Paris.
- Yildirim, Y., Qatan, A, Prozzi, J. (2006). Field Manual for Crack Sealing in Asphalt Pavements. Texas, Austin: Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin.